



www.emu.ee

Eesti Maaülikool
Estonian University of Life Sciences

Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Priit Kunnus

**LAKENIIDU TALU MULDADE HUUMUSBILANSI
ANALÜÜS**

**ANALYSIS OF HUMUS BALANCE IN LAKENIIDU TALU'S
SOILS**

Bakalaureusetöö

Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine õppekava

Juhendaja: dots. Enn Lauringson

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Priit Kunnus		Õppekava: Põllumajandussaaduste toomine ja turustamine	
Pealkiri: Lakeniidu talu huumusbilansi analüüs			
Lehekülgi: 60	Jooniseid: 7	Tabeleid: 12	Lisaid: 14
Osakond: Mullateadus ja agrookeemia osakond Uurimisvaldkond: Taimekasvatus B390, Mullateadus B410 Juhendaja(d): dots. Enn Lauringson Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
<p>Uurimistöö eesmärgiks on hinnata Lakeniidu talu huumusseisundi olukorda huumusbilansi kalkulaatori abil. Anda soovitused analüüsi tulemustest lähtuvalt ja analüüsida huumusseisundi olukorda soovitude sisseviimisel. Huumusbilansi arvutamiseks ja selle tulemi põhjal hinnangu andmisel kasutatakse Eesti Maaülikooli Põllumajandus- ja keskkonnainstituudis välja töötatud huumusbilansi kalkulaatorit. Programm on loodud tabelarvutusprogrammi MS Excel tarkvara baasil. Kalkulaatori tulem väljendatakse huumusbilansina: huumust kg/ha aastas ja huumusvaru muutusena, % algsest huumusvarust aastas. Kalkulaator võimaldab anda tulemit konkreetse põllu kui ka kogu viljavahelduse kohta.</p> <p>Analüüsi tegemiseks koguti Aare Kunnuselt Lakeniidu talu kohta puudutavaid andmeid nagu ettevõtte üldiseloostus, tööjõud, maafond, kasvatatavad kultuurid, saagi andmed ja masintehnoloogia. Kalkulaatori andmebaasi sisestati PMA laboris määratud C_{org} ja mullastiku kaardi andmed. Huumusseisundi hindamise aluseks võeti talu viie viimase tootmisaasta (2012–2016) kultuuride saagikuse ja väetamise andmed.</p> <p>Töös selgus, et talu huumusbilanss vaadeldud aastatel on optimaalne, mis tagab saagikindluse ning sobib erinevatele muldadele. Positiivse huumusbilansi tagasid herne ja liblikõieliste heintaimedes kasvatamine viljavahelduses.</p>			
Märksõnad: viljavaheldus, liblikõielised, huumusseisund			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Priit Kunnus		Speciality: Production and Marketing of Agricultural Products	
Title: Analysis of humus balance in Lakeniidu talu's soils			
Pages: 60	Figures: 7	Tables: 12	Appendixes: 14
Department: Department of Soil Science and Agrochemistry Field of research: Phytotechny B390, Soil science B410 Supervisors: dots. Enn Lauringson Place and date: Tartu 2017			
<p>The purpose of this reseach is to evaluate the condition of the humus in Lakeniidu talu (farm) through the humus balance calculator. To give suggestions based on the results and to analyse the conditions of the humus and to give futher suggestions how to make the suggestions a reality. Humus balance calculator, created by Institute of Agricultural and Environmental Sciences in Estonian University of Life Sciences is used to calculate the humus balance and to evaluate the results. The program is based on MS Excel software. The results are expressed through balance of the humus: humus kg/ha in a year, the change in humus supplies and percentage of humus supplies in a year. The calculator gives results by specific field and also by the whole area.</p> <p>To analyse the data about Lakeniidu farm, data (caracteristics of the company, workforce data, cultures grown there, data about the amount of the crops) was collected from Aare Kunnus. C_{org} and data about the soils were inserted to the calulator in PMA laboratory. To evaluate the condition of the humus, data about crop yield and fertilizer from the last five years (2012–2016) was taken under consideration.</p> <p>The research showed that the humus balance in these years was optimal, which gives us the stabiliy of the amount of crops and suits with different soils.</p> <p>The growing of legumes hay plants and peas gave the positive humus balance.</p>			
Keywords: Crop rotation, legume, humus balance			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. ETTEVÕTTE ISELOOMUSTUS.....	7
1.1. Ettevõtte kujunemine.....	7
1.2. Ettevõtte tööjõud	7
1.3. Ettevõtte tehnopark.....	7
1.5. Ettevõtte mullastiku analüüs	8
1.5.1. Näivleetunud mullad	9
1.5.2. Leetunud mullad.....	10
1.6. Muldade huumussisaldus	11
1.7. Põllukultuuride tehnoloogia	12
1.8. Põllukultuuride saagikus	13
2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	16
2.1. Mulla süsinik	16
2.2. Humus	17
2.3. Põllukultuuride mõju humusbilansile.....	18
2.4. Juurte mõju humusbilansile.....	18
2.5. Põhu mõju humusbilansile	19
2.6. Haljasväetiskultuuride mõju humusbilansile.....	20
2.7. Vahekultuuride mõju humusbilansile.....	21
2.8. Mullaharimise mõju humusbilansile	22
3. HUUMUSBILANSI KALKULAATORI ARENDUS.....	23
4. UURIMISTÖÖ METOODIKA.....	25
5. TULEMUSED JA ARUTELU.....	29
5.1. Humusbilanss Lakeniidu talus.....	29
5.1.1. Humusbilanss Männiku 2 põllul THTTT grupp.....	29
5.1.2. Humusbilanss Tsua 1 põllul TTHHaT grupp	30
5.1.3. Humusbilanss Väetiseküüni 2 põllul TTHHaHe grupp.....	32
5.1.4. Humusbilanss Lalli põllul HaTTTHe grupp.....	33
5.1.5. Humusbilanss Tsau 2 põllul TRTTHa grupp	34
5.1.6. Humusbilanss Masti põllul, THHHT grupp	35

5.1.7. Huumusbilanss Tähe põllul HHHTR grupp	36
5.1.8. Huumusbilanss Sulevi põllul HHHHR grupp	37
5.1.10. Huumusbilanss Kõossaare põllul TTRTT grupp	39
5.1.11. Huumusbilanss Männiku põllul TRTHeT grupp	40
KOKKUVÕTE	42
KASUTATUD KIRJANDUS	44
SUMMARY	49
LISAD	52
Lisa 1. Huumusbilanss viljavahelduses TTTHHa	53
Lisa 3. Huumusbilanss viljavahelduses THHHT	54
Lisa 4. Huumusbilanss viljavahelduses HHHTT	54
Lisa 5. Huumusbilanss viljavahelduses TTHHH	55
Lisa 6. Huumusbilanss viljavahelduses TRTTT	55
Lisa 7. Huumusbilanss viljavahelduses TRTTT	56
Lisa 8. Huumusbilanss viljavahelduses TRTTT	56
Lisa 9. Huumusbilanss viljavahelduses TTTTH	57
Lisa 10. Huumusbilanss viljavahelduses HTTTT	57
Lisa 11. Huumusbilanss viljavahelduses HTTTT	58
Lisa 12. Huumusbilanss viljavahelduses HaTTTHe	58
Lisa 13. Huumusbilanss viljavahelduses TTRTTHe*	59
Lisa 14. Huumusbilanss viljavahelduses TTRTTHa*	59

SISSEJUHATUS

Mulla oluliseks tunnuseks on viljakus. Mullaviljakuse üheks oluliseks kujundajaks on mulla orgaaniline aine ja selle püsivaim osa huumus. Põllumulla huumusesisaldus ja -varu on mõjutatav külvikorrast, väetamisest, mullaharimiviisist jpm teguritest. Mulda viidaval orgaanilisel ainel on tähtis roll, kuna sellega paraneb mulla struktuur ja veehoiuvõime, toiterežiim, füüsikalised ja hüdrofüüsikalised omadused. Samuti mõjub ergutavalt orgaanilise aine mulda viimine mullaelustiku bioloogilisele aktiivsusele.

Lagunenud ja juurdetekkinud huumusvaru vahena saab hinnata maakasutus mõju mulla orgaanilise aine tasakaalule. 1–3% aastas mulla huumusvarust mineraliseerub ja seda intensiivsem on see, mida rohkem külvikorras on rühvelkultuure, mustkesa ja teravilju. Mullaviljakus sõltub viljavahelduses kasvatatavate haljasväetis- ja liblikõieliste kultuuride kasvatamisest. Uut orgaanilist ainet on vaja pidevalt mulda juurde anda huumuse vähenemise tõkestamiseks, mis tagastaks viljeluse käigus vähenenud huumuse.

Uurimistöö eesmärgiks on hinnata Lakeniidu talu huumusseisundi olukorda huumusbilansi kalkulaatori abil. Anda soovitusel analüüsi tulemustest lähtuvalt ja analüüsida huumusseisundi olukorda soovitude sisseviimisel.

Töö hüpoteesiks on, et viljavahelduses kasvatatavad kaunviljad ja liblikõielised heintaimed tagavad positiivse huumusbilansi.

Soovin tänada oma juhendajat Dots. Enn Lauringsoni, kes on mind aidanud nõu ja jõuga ning igakülgse abiks olnud lõputöö valmimisel. Samuti tänan EMÜ teadlasi, kes on töötanud välja huumusbilansi kalkulaatori.

1. ETTEVÕTTE ISELOOMUSTUS

1.1. Ettevõtte kujunemine

Lakeniidu talu asub Vastseliina alevikus, Vastseliina vallas Võrumaal. Talus hakati tegelema teraviljakasvatusega peale sohvooside laiali saatmist. Algselt küll peeti talus kahte siga ning kanu aga 1990. aastate lõpus lõpetati loomade pidamine. Maareformi käigus sai Ene Kunnus Lakeniidu talu omanikuks ning tema poeg Aare Kunnus hakkas seal tegelema teravilja kasvatusega. Talu suuruseks oli 8,4 ha. Renditi ka teistelt maaomanikelt maid ning algselt alustati 20 ha-ga ja siit on talu põllukultuuride kasvatamise pind järk järgult kasvanud. Sohvoosi laiali minekul sai tallu soetada traktori, mullaharimise haakeriistad ning kombaini.

Tänapäevaks on Lakeniidu talu külvipinnaks 160 ha põllumaad, millest 130 ha on rendimaad. Põhitegevusalaks on teravilja-, kaunvilja- ja õlikultuuride kasvatus.

1.2. Ettevõtte tööjõud

Talus tehakse enamus töid ära oma perega. Vastavalt vajadusele palgatakse ka hooajalisi töölisi. Kuna praeguse taimekasvatuse pinna juures tullakse toime oma perega, siis pole vajadust püsi lisatööjõu palkamiseks. Tööülesanded pole talus kellelegi kindlaks määratud vaid kõik on võimelised üksteist asendama. Talu peamiseks tegevusvaldkonnaks teravilja-, kaunvilja- ja õlikultuuride kasvatus ja metsandus. Talu pakub ka erinevaid masinateenuseid ümbruskonna teistele taludele.

1.3. Ettevõtte tehnopark

Lakeniidu talu masinapargis on nii vene päritolu kui ka lääne päritolu masinaid. Talus on traktorid: Valtra N111, T-150K 2tk, MTZ-82 2tk, T-25, T-16. Valtra on varustatud GPS-juhtimissüsteemiga. Viljalõikus teostatakse Sampo 2075 SR teravilja kombainiga, mis on 4,5 m laiuse heedriga. Külvikuks on Junkkari Maestro 3000 Plus. Külvieelseks mullaharimiseks

on Same K-6,0S kultivaator aktiivlibistiga ja randaal Lemken Rubin 9/300 ÜR DRR. Kõrrekoorimiseks on kasutusel Expom Goliat 3,0 ketaskultivaatorit. Kündmiseks on Vogel&Noot pöördader. Väetise laotus toimub Kuhn MD19,1 väetisekülvikuga. Vilja vedamiseks kasutatakse ERT 12 traktori haagist. Metsatöödeks on Kire tõstukiga metsakäru. Masinate hoiustamiseks on ehitatud masinakuur.

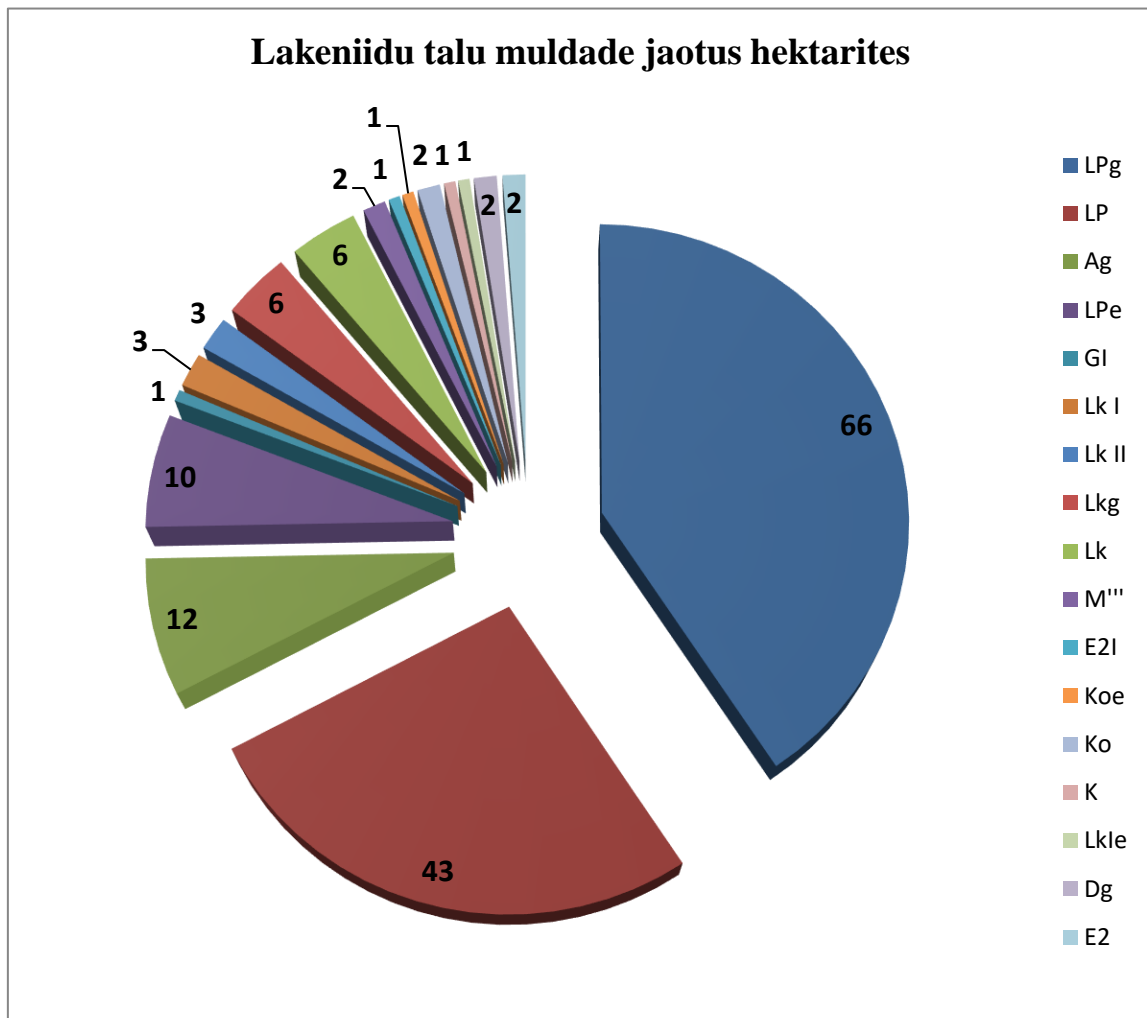
Teravilja kuivatuskompleks valmis 2016. aastal. Varem osteti kuivatus teenus Võrumaa Masinaühistult, mis asub talust 30 km kaugusel. Kuivati kompleksis on 50 tonni mahutavad märja vilja hoiupunkrid, mobiilne kuivati Mepu 205K mahutavusega 18 m³. Kuiva vilja hoiustamiseks on 80 tonni mahutavusega galvaniseeritud metallist hoiupunker. Autotranspordile laaditakse hoiupunkrist väljalaadimistee abil.

1.5. Ettevõtte mullastiku analüüs

Muld on maakoore pindmine kobe kiht, mida muudavad ja kasutavad muud elusorganismid ja aktiivselt taimed ning nende laguproduktid ülejäänud keskkonna mõjutusel ja osalusel (Astover 2012). Muld on tekkinud elusa ja eluta looduse pikaajalisel vastastikkusel toimel. Ta on alamate ja kõrgemate taimede ning bakterite, seente, ja mullaloomastiku elu- ja toitainekeskkond, kuigi sageli mõjutatud inimese majanduslikust tegevusest. Mullateke on väga aeglane protsess ning viljaka mulla kujunemiseks võib kuluda sajandeid ning seepärast peetakse mulda taastumatuks loodusvaraks (Astover 2012). Maakoort moodustavate kivimite pindmine osa on mulla lähtematerjal, elus ja surnud orgaaniline aine aga mullateket käivitav jõud (Astover 2012). Mulla viljakus kujutab endas mulla võimet tagada taimede arenguks ja kasvuks soodsad tingimused, ennekoike varustada taimi veega ja toiteelementide ning hapnikuga taimejuuri (Astover 2012). Peamisteks muldade tunnusteks on mullatüüp, struktuursus, huumusesisaldus, lõimis (savi ja liiv vahekord), reaktsioon (happesus), huumushorisondi tusedus, vee, õhu ja soojuseolemasolu, mineraaltoitainete sisaldus, kivisus ning mullaelustik (Penu 2006).

Lakeniidu talu muldade aluspõhjaks on ülemdevoni ladestik. Aluspõhi on kõikjal kaetud pinnakattega, milleks on punakaspruun karbonaadivaene moreen. Karbonaadivaesel moreenil on kujunenud peamiselt näivleetunud mullad.

Lakeniidu talus on levinuimateks muldadeks gleistunud pruunid näivleetunud mullad (LPg), näivleetunud ehk kahkjad mullad (LP) ning vähemal määral ka lammi-gleimuldi (AG) ja leetunud muldi (LkI-III). Talu muldade jaotus on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Lakeniidu talus esinevad mullatüübid (ha)

1.5.1. Näivleetunud mullad

Näivleetunud ehk kahkjad mullad on väheste ülagleistumise tunnustega parasniisked mullad, mille ülemine 30–80 cm kiht on kergema lõimisega (saviliiv või kerge liivsavi) ja alumine ühe kahe astme võrra raskema lõimisega (Astover 2012). Nende muldade üheks oluliseks tunnuseks on mullaprofiilis selgesti eristatavad sügavad "keeled" ja sopistused, mille hele värvus tuleneb sellest, et on olnud ajutine ülavesi koos lessiveerumisprotsessiga. Mullaprofiil koosneb horisontidest A-Baf-Ew-Bt-C₂ või A-(Baf)-Ew-B-C₂. Põllumuldade huumusesisaldus on enamasti keskmine või vähene (1,9–2,4%) ja üldlämmastikuisaldus

valdavalt 0,13%, suhteliselt suur on aktiivse raua ja alumiiniumi sisaldus. Huumushorisoni all ja Ew horisoni kohal olev Baf-horison on tekkinud amorfse raua kogunemisel. Näivleetunud muldi eristatakse heledaid (ilma Baf horisonidita) ja pruune (esineb Baf horison). Mullakontuuril on neid keeruline eristada, kuna looduses vahelduvad need kaks horisoni väga sageli. Mullad on kujunenud lainjatele moreentasandikele, kus peamiselt lähtekivimiks on punakaspruun karbonaadivaene liivsavimoreen, mille ülemine osa on kergema lõimisega ning see on tingitud mitmesugustest geoloogilistest ja mullatekkeprotsessidest. Näivleetunud põllumulla ülemised horisonid on enamjaolt nõrgalt happelise reaktsiooniga või neutraalsed, sest neid on pidevalt lubjatud, looduslikus olekus mullad on happelised (Penu 2006).

Kultuurmaana kasutamisel on näivleetunud muldade viljakus üle keskmise: nende boniteet on enamasti 40–50 hindepunti, mis tähendab, et tegemist on VI hindeklassi maaga (Astover 2012). Kuna ülakihis on valdavalt kerge liivsavi või saviliiv, siis on neid muldi kergem harida ja sellistel muldadel sobib kasvatada talirukist, lina ja kartulit. Enamik teravilju on sobilik kasvatada peale lupjamist (Penu 2006).

1.5.2. Leetunud mullad

Leetunud muldade profiilid on väljauhtelised ja leetumise astme ehk leethorisoni (E) alusel jagunevad kolmeks: nõrgalt (E – horison puudub või on <5cm), keskmiselt (E – horison 5 – 15 cm) ja tugevasti (E – horison >15cm) leetunud muld. E – horison on sageli osaliselt või ka tervenisti ära küntud. Sisseuhtehorisoni (B) tusedus on seda suurem, mida suurem on leetumise aste. Mullaprofiil koosneb tüüpiliselt horisonidest A-E-B-C, esineda võib liithorisonite AE, EB ja BC. Leetunud muldade kujunemises avaldavad olulist mõju kamardumine (huumushorisoni teke) ja leetumine, mille tagajärjel moodustub leethorison (E) – värvuselt valkjast, helehalli või kollakashalli vaene saviosakestest, kergesti lagunevatest ja enamikust toiteelementidest. See asub vahetult orgaanilise aine akumulatsioonihorisoni all ning on sageli huumusainetest määrdunud. Sisseuhtehorison (B) on moreenil raskesti eristatav lähtekivimist, liivadel aga esinevad sageli huumus- ja roostelaigud. Seega on sisseuhtehorison huumus (Bh)- ja raudakumulatiivne (Bf) ning tihti sisaldab ka nõrgkivikonkreetsioone (raua kogunemise pesad). Leetunud mullad tekivad karbonaadivaesel või -vabal lähtekivimil, enamasti punakaspruunil moreenil ja mitmesuguse tekkega liivadel.

Huumusesisaldus on keskmiselt suhteliselt vähene 2–2,2%, kihisemine algab 1–1,5 m sügavuselt või puudub, huumushorizont on tugevasti happeline ning suureneb sügavuse suunas veelgi.

Viljakus: Viljakus on keskmine või alla selle. Suhteliselt hästi sobivad neile muldadele rukis, kartul ja oder, veidi vähem kaer, nisu ja põldhein. Hästi sobivad lupiin ja tatar.

Miinused:

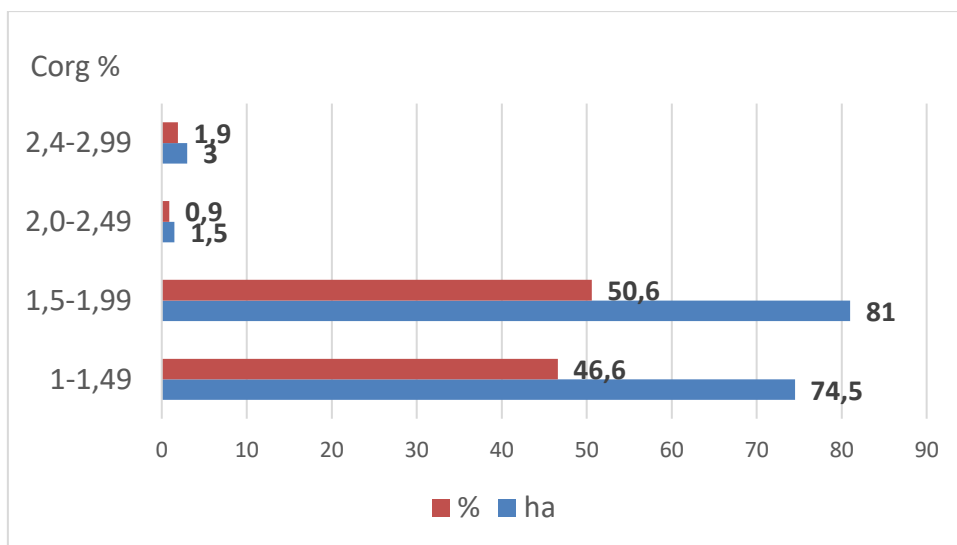
- liigne happelisus (lupjamata mullad), mis põhjustab vähekvaliteetse huumuse teket)
- vähene produktiivse vee varu
- vähene bioloogiline aktiivsus, mille tõttu on pärsitud orgaanilise aine muundumine
- vähearenevad või arenemata mulla struktuursus – struktuur on üksikteraline
- harimisõrnus
- madal liikuvate toitainete sisaldus

(Penu 2006)

1.6. Muldade huumussisaldus

Eestimaa põllumuldades huumust on tavaliselt vaid 2–4% (mineraalne moodustab mulla põhiosa), mängib ta suurt osa muldade omaduste kujunemises. Peamiseks huumuse tekke allikaks on taimed, sõnnik ja mulda antud kompost, mis mulla makro- ja mikroorganismide vahendusel kõik alluvad lagunemisele ja seejärel muundamisele. Seega on hea mulla säilitamise ja saamise olulisim eeltingimus kasutada piisava koguse orgaanilist- või haljasväetist. Huumus, üks osa mulla orgaanilisest ainest, on taim-muld süsteemis oluliste toiteelementide ja energia allikaks, aga ka mulla mineraalosa kaasamisel aineringsse tähtis osaleja. Huumus mullas suurendab sõmerust, soodustab vee-, õhu-, soojus- ja toitumistingimuste paranemist mullas. Mida mitmekesisem ja aktiivsem on mullaelustik, seda kiiremini ja intensiivsemalt moodustuvad protsessid mineraalosa ja huumusainete vahel (Penu 2006).

Lakeniidu talu kogu pinnast C_{org} sisaldus % analüüsitud põldudel hektarites ja protsentides on toodud joonisel 2.



Joonis 2. Lakeniidu talu põldude C_{org} sisaldus (%) ja osatähtsus (ha)

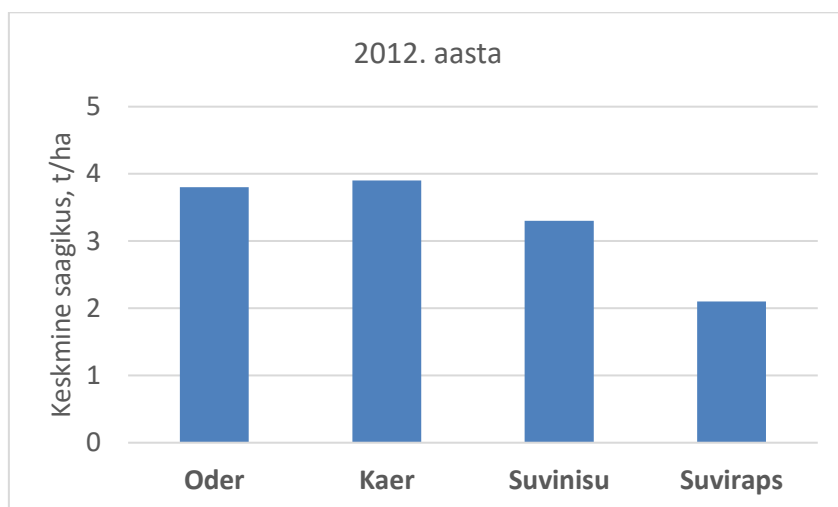
Mullaanalüüsi tulemuste põhjal on talu põldude agrokeemilised näitajad järgmised: pH_{KCl} 6,4–4,8; P 41–219 mg/kg, K 49–188 mg/kg.

1.7. Põllukultuuride tehnoloogia

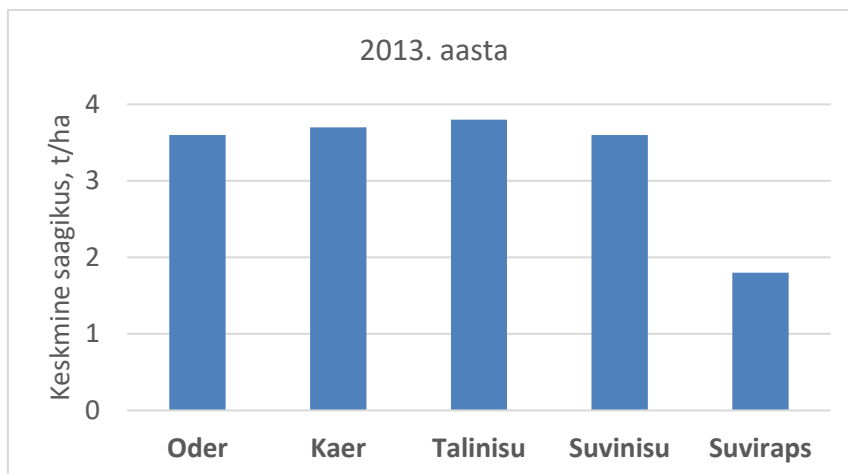
Talu loomisest saati on mullaharimine olnud künnipõhine, kuigi viimased aastad on rakendatud ka minimeeritud mullaharimist. Minimeeritud mullaharimise suunas on talul üha rohkem tahtmist minna, sest nii on kiiremini võimalik külvipindasid ette valmistada, eriti sügisel enne taliviljade külvi. Kuna põhk on alati jäänud talus põllule, et taastoota humust, siis minimeeritud mullaharimine soodustab põhu kiiremat lagunemist. Künni puhul segatakse muld vastavalt künnisügavusele läbi (22–25 cm), siis minimeeritud mullaharimise juures segatakse mulda 7–15 cm sügavuselt, mis tagab ka selle, et toitaineid ei viida mulla alumistesse kihtidesse ning on rohkem taimedele kättesaadavad.

1.8. Põllukultuuride saagikus

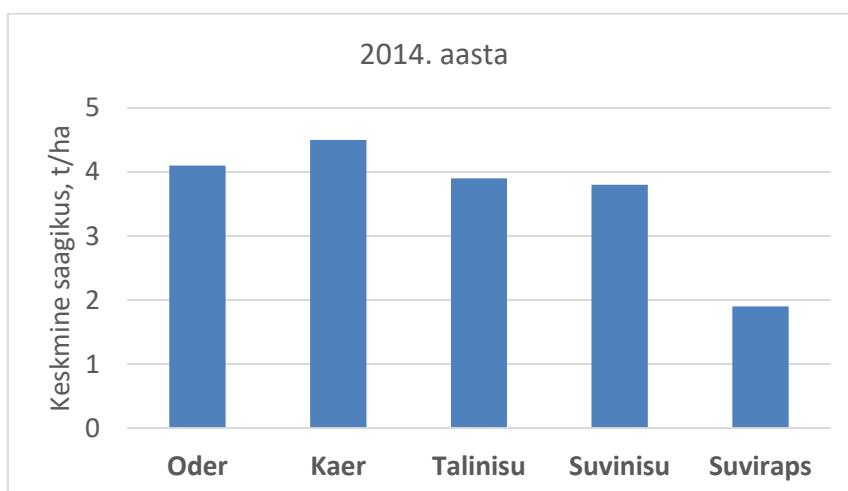
Saagikuse tase on olnud Lakeniidu talus Eesti statistiliste keskmiste saakidega võrreldes suuremad, kuid mitte väga palju kõrgemad. Saagi tase on olnud aastate lõikes erinev. Peamiseks saagi kujunemise kahanevaks teguriks on olnud kevad-suvisel perioodil sademete hulk. Talivilja saagikust on mõjutanud suuresti talvitumine ja ilmastik varakevadel. Lakeniidu talu keskmine teravilja saagikus on vahemikus 3–5 tonni hektari kohta. Rapsi keskmine saagikus on püsinud ligikaudu 2 tonni. Olenevalt aastast, kas natuke alla või natuke üle 2 t/ha. 2012. ja 2013. aasta teravilja saagikused on olnud enamvähem sarnased, kuid 2014. aastal on kaera ja odra saagikus suurenenud keskmiselt 0,5 t/ha. 2016. aasta odra keskmine saagikus on vähenenud 2015. aastaga võrreldes 1 t/ha. Sellise languse tingis kuiv ja jahe kevad. 2016. aastal oli sobivam kasvuaasta kaerale, talinisule ja suvinisule, sest nende saagikus on tõusnud võrreldes 2015. aastaga. Talu 2012–2016 aasta saagikused on toodud joonistel 3, 4, 5, 6 ja 7.



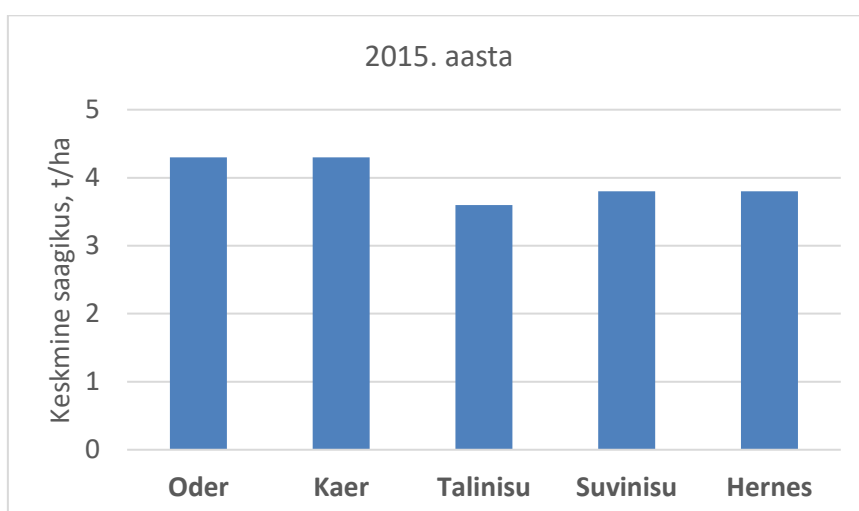
Joonis 3. Lakeniidu talu põllukultuuride saagikus aastal 2012.



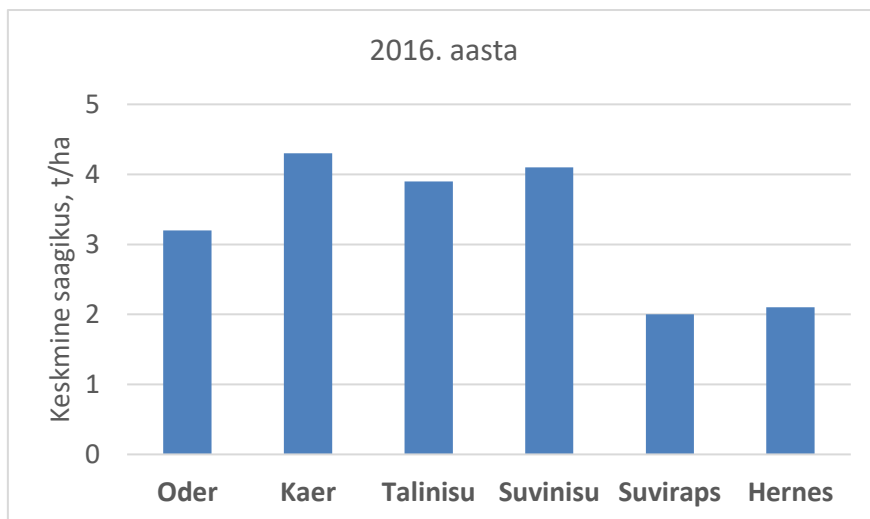
Joonis 4. Lakeniidu talu põllukultuuride saagikus aastal 2013.



Joonis 5. Lakeniidu talu põllukultuuride saagikus aastal 2014.



Joonis 6. Lakeniidu talu põllukultuuride saagikus aastal 2015.



Joonis 7. Lakeniidu talu põllukultuuride saagikus aastal 2016.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Mullaviljakuse peamiseks kujundajaks on orgaaniline aine. Orgaaniline aine on tugevasti seotud mulla elustiku, toitaineringe, taimejäänuste lagunemise ja humifikatsiooniga. Mulla orgaaniline aine parandab mulla struktuuri ning veehoiuvõimet, toitainete kättesaadavust kasvatavatel kultuuridel ning on mullaelustiku bioloogilise aktiivsuse ja mitmekesisuse ergutaja. Orgaanilise aine suurendamiseks põllul sobivad põllukultuuride jäätmel, haljasväetised, kompost, sõnnik. Suurem osa orgaanilisest ainest laguneb kiiresti.

Mulla viljakuse säilitamiseks, nii saagikuse kui keskkonnahoiu seisukohalt, peab mulda viima orgaanilist ainet koguses, mis kompenseeriks kultuuride kasvatustehnoloogia käigus tehtud orgaanika kulutused.

Muldade huumusesisaldust jälgides on võimalik saada teavet saavutamaks ökoloogiliselt õige, tasakaalustatud ja mulla viljakust säilitav kultuuride kasvatustehnoloogia. Mulda akumulunud orgaaniline süsinik täidab eelkõige mulla keskkonnatingimuste kujundaja, režiimide reguleerija rolli. Orgaanilise aine sisaldust mullas saame mõjutada mitmete agrotehniliste võtete abil. Külvikorras kasvatavate kultuuride valiku ja väetamise kõrval on üheks oluliseks mulla orgaanika mõjutajaks ka mullaharimistehnoloogia.

2.1. Mulla süsinik

Mulla süsiniku varu on kolm korda suurem, kui kogu süsiniku hulk maapealses biomassis ning kaks korda suurem, kui kogu atmosfääris olev süsiniku hulk. Taimed seovad atmosfäärist süsinikku fotosünteesi käigus ning kuna taimed on peamised orgaanilise aine allikad, siis orgaanilise aine lagunemisel mullas vabaneb sinna süsinik. Süsiniku sisalduse suurendamiseks mullas on üks võimalustest haljasväetiste kasutamine külvikorras ning seeläbi parandada mulla orgaanilise süsiniku hulka põllumuldades. Haljasväetistega mulda viidava orgaanilise aine arvel paraneb huumusseisund ning suureneb orgaanilise süsiniku ja lämmastiku sisaldus. Orgaaniline C ja N on head mulla viljakuse ja produktiivsuse näitajad, mõjutades mulla füüsikalisi, hüdrofüüsikalisi, keemilisi ja bioloogilisi omadusi (Reeves

1997). Rikkalik orgaanilise aine muldaviimine mõjub soodsalt mulla elustikule ja mulla bioloogilisele aktiivsusele (Eriksen-Hamel *et al.* 2009).

Iga muutus mullaharimisvõtetes põhjustab ka muutust süsiniku varus. Mullaharimisvõtte muutusel on eesmärgiks saagi suurendamine ja mulla keskkonnasäästlikum kasutamine, seejuures tuleb hoolikalt arvestada mõju mulla süsiniku varu muutusele, et tagada mullasüsteemi pikaajaline jätkusuutlikus. Läbimõeldult planeeritud mullaharimisvõtted suurendavad nii mulla süsiniku sisaldust kui ka produktiivsust, mille tulemusena väheneb ka süsihappegaasi emissioon (Lal 2009).

Vastupidiselt kiire mõjuga mineraalväetistele, vabanevad haljasväetistest toitained pikema perioodi jooksul. Haljasväetiskultuurid aitavad kontrolli all hoida umbrohtu, vähendades seega herbitsiidide kasutamist, peale selle vähendavad nad teravilja rohkes külvikorras allelopaatilist mõju (Conklin *et al.* 2002). Lisaks eelnevale suurendavad haljasväetised mineraalväetiste efektiivsust.

Mullaviljakus sõltub olulisel määral orgaaniliste väetiste kasutamisest, külvikorras peaks olema oluline koht haljasväetiskultuuridel. Kõige olulisem on nende kasvatamine huumusevaestel ja puuduliku mikrobioloogilise tegevusega muldadel.

2.2. Huumus

Üheks põllukultuuride saagikust limiteerivaks teguriks Eestis on muldade madal huumusesisaldus, seda eriti Lõuna-Eestis, kus kogu haritavast maast 40–60% ulatuses on huumusesisaldus mullas alla 2% (Järvan *et al.* 1996). Kui 1980.-ndatel aastatel viidi mulda orgaaniliste väetistega kuivainet 2–2,5 t/ha kohta ning arvesse võttes ka mulda jäävad taimejäänused (4–5 t/ha), siis pikaajalistele põldkatsetele tuginedes võime järeldada, et põllumuldade huumusesisaldus jäi sel perioodil kas samale tasemele või suurenes aastas keskmiselt 0.03% võrra, sest mulda viidava orgaanilise aine humifikatsioonikoefitsient on sõltuvalt selle koostisest 0.1–0.3 (Lauringson *et al.* 2015). Uuringutele tuginedes võiks arvestada, et mulda viidud orgaanilise aine kuivainest läheb huumuseks huumusvaestes (~2%) muldades tavaliselt 10–20% ja huumusrikkamates muldades isegi üle 30% (Lauringson *et al.* 2006).

On teada, et mulla huumusseisundil on suhteliselt püsivaid näitajaid (sisaldus, varud, paiknemine mullas) kuid suunatud agrotehnoloogiaga saab seda samm-sammult paremaks muuta või siis ära hoida nende olulise halvenemise. Kuid agronoomilisest aspektist on hoopiski olulisem mulla orgaanilise aine aastabilanss (mulda juurdetuleku ja lagunemise vahet) ning selle dünaamika vegetatsiooniperioodi jooksul (Kõlli *et al.* 2006). Mullaviljakuse säilitamiseks on oluline, et põllumullas oleks huumuse teke ja mineralisatsioon tasakaalus. Viljelussüsteemide rakendamisel mulla eripära arvestatavat huumusseisundit tuleb osata hoida.

2.3. Põllukultuuride mõju huumusbilansile

Mulla orgaaniline aine ja selle püsivam osa huumus on üks tähtsamaid komponente mullaviljakuse kujundamisel. Huumusvarust mullas mineraliseerub aastas 1–3% ja seda intensiivsemalt, mida enam kasutatakse külvikorras teravilju, mustkesa ja rühvelkultuure (Kanger *et al.* 2002). Külvikorras olevad liblikõielised kaunviljad ja heintaimed sh haljasväetiskultuurid aitavad mulda tagastada orgaanilist ainet, mille läbi tagatakse mulla talitlemisvõime säilitamine. Samuti saab kasutada orgaanilisi väetisi mulla elujõulisuse säilitamiseks. Huumus on mullaviljakuse üks põhilistest näitajatest, millest sõltuvad paljud mulla omadused, mullas toimuvate protsesside iseloom ja taimkatte elujõulisus.

2.4. Juurte mõju huumusbilansile

Katsed Eerikal on näidanud, et juurte mõju huumusbilansi parandamiseks on pikaajalisem kui maapealse biomassi muldaviimine (Lauringson *et al.* 2011). Katseandmetest selgub, et sügisel mulda viidud haljasväetiskultuuride maapealsest biomassist lagunes aastaga ja mineraliseerus sellest 60–70% ja kahe aastaga 70–80%, siis juurte massist mineraliseerus aastaga 50–60% ja kahe aastaga 65–75% (Lauringson *et al.* 2011).

Katsed odra ja haljasväetiskultuuridega näitasid, et juurte süsiniku osatähtsus koristusaegselt (kogu biomassi süsinikust) oli odra puhaskülvis umbes 20%, allakülvide puhul ligilähedaselt 30% ja liblikõieliste puhaskülvides oli kuni 50% (Talgre *et al.* 2009).

Tegelikult on juurte mõju huumustekkele suurem, sest koristamise ajaks on suur osa nendest (tavaliselt määramiste aeg) mineraliseerunud. Kirjanduse andmetel huumuse moodustamiseks rõhutakse just juurte osatähtsust. Mitmed teadlased on väitnud, et juurtest pärit süsinik on oluline mulla huumusvaru taastaja (Allmars 2004, Engels *et al.* 2010). Johanson *et al* (2006) andmetel võib juurte süsiniku mõju isegi olla 1,5–3 korda suurem kui maapealse biomassi panus. Kogu juurtemassi koguseks, mida võiks mudelites ja kalkulaatorites arvestada huumusvaru täiendamiseks, soovitatakse juurtemassile lisada 65% (Kuzjakov, Schneckenberger 2004). Võrreldes maapealse biomassiga arvestatakse ka, et juurte humifikatsioonikoefitsient on suurem: 25–30% (Bolinder 1999; Hoyer 2009).

2.5. Põhu mõju huumusbilansile

Põhu tagastamine mulda mõjub positiivselt nii süsiniku suurendamisele kui ka toitainetega parema varustatuse ning suurendab mikroorganismide aktiivsust (Bastian *et al.* 2009). Ühe tonni põhuga tagastatakse mulda ligikaudu 200 kg huumust.

Peale teravilja koristust tuleks põhk mulda segada, et mikroorganismid saaksid hakata seda lagundama. Põhu mullaga segamiseks on sobilik kasutada ketaskõrrekoorlit või randaali. See tagab põhu lagunemisel parema lämmastiku kasutamise ning soodustab mulla vee- ja õhurežiimi. Põhu lagundamiseks on mikroorganismidel vajalik lämmastikku, mis võetakse mullast. Kui põhu lagunemine jääb hetkele, mil põllul kasvavad kultuurtaimed, siis tekib lämmastiku tarbimisel konkurents ning kultuurtaimed jäävad lämmastiku vaesusesse. Sellises olukorras tuleks anda põllule lisälämmastikku. Kui põhu lagunemine jääb põllul kultuurita perioodi, siis sellega probleeme ei esine ning mikroorganismid suudavad põhu lagundada.

Põhu kündmisel sügavamatesse kihtidesse toimub põhu lagunemine aeglaselt. Mida sügavamale põhk mullas viia seda suurem on tõenäosus, et lagunemisel tekib hapnikupuudus, mille tagajärjel hakkab mullas arenema reduktsiooniprotsess, kus osalevad anaeroobsed mikroorganismid ning mille tagajärjel tekivad mulda ühendid, mis on taimedele mürgised. Kanali ja Kõlli (1999) uurimustest selgus, et põhu aastane lagunemine vähenes 10%, kui see 5 cm asemel satub 20 cm sügavusele.

Mõned teadlased on leidnud, et põhu muldaviimisel on efekt mulla orgaanilisele ainele väga väike või puudub (Campbell *et al.* 1991; Soon 1998), samas on tulemusi, kus põhu mulda

kündmisel suurenes mulla orgaanilise süsiniku kogus 5–50% (Thomsen, Christensen *et al.* 2004), kuid see jääb madalamaks külvikordadest, kus kasutatakse sõnnikut või haljasväetisi (Schjønning *et al.* 2007).

2.6. Haljasväetiskultuuride mõju huumusbilansile

Liblikõieliste haljasväetiskultuuridega mulda viidav orgaaniline aine parandab mulla huumusseisundit, kuid ka mulla toiterežiimi, füüsikalisi ja hüdrofüüsikalisi omadusi. Suurel hulgal haljasväetiskultuuride mulda viimisel soodustab see mulla elustikku kui ka bioloogilist aktiivsust. Liblikõielised kultuurid on suutelised omastama mullas raskesti lahustuvat fosfori ja kaaliumi paremini kui teraviljad ning haljasväetise mulda sissekännil muutuvad nad teistele kultuurtaimedele kergesti kättesaadavaks.

Peamisteks haljasväetiskultuurideks sobivad punane ristik, valge mesikas, lutsernid kui ka lupiin ja nõiahammas. Lõuna-Eestis sobib rohkem kasvatada punast ristikut, kuna see piirkond on happeliste muldadega, kuigi muldi lubjates on sobilik kasvatada ka valget mesikat ning lutserni. Põhja-Eestis kasvavad hästi nii lutsern kui ka valge mesikas, kuna mullad on lubjarikkad.

Haljasväetiste mulda viimisel ei ole nende mõju ühe aastane vaid kestab pikemalt. Sellest lähtuvalt on nende kasvatamine vajalik eeskätt huumusvaestel muldadel, et huumusbilans muutuks positiivsemaks ning mulla orgaanilise aine varu täieneks.

Haljasväetiskultuuride bioproduktioon ning ka nende poolt seotud lämmastiku kogused on suuresti erinevad, sõltudes taimeliigist, mullast ja rakendatud agrotehnikast (Wivstad *et al.* 1996). Liblikõielised haljasväetiskultuurid on võimelised heades kasvutingimustes andma 6–12 t/ha kuivainet (Talgre *et al.* 2009; Lauringson 2011), millest humifikatsiooniprotsessi tulemusena tekib mulda kuni 2–3 t/ha huumust (Talgre *et al.* 2008). Sellise saagiga on mulda viidav lämmastiku hulk kuni 300 kg/ha kohta. Haljasväetiste üheks tähtsaks võimeks on juurte kaudu tuua mulla alumistest kihtidest toitained mulla pindmisse kihti (P, K, Ca) (Teit 1990). Sellega muudavad toitained järgnevatele kultuuridele kättesaadavaks (Witter, Johansson 2001). Seepärast ongi haljasväetiskultuuride üks hea omadustest pikad juured mis on võimelised tungima mulla alumistesse kihtidesse. Kuna mulda viidava haljasväetisest vabanevad toitained muutuvad taimedele kättesaadavaks aeglasemalt ja ühtlasemalt kui

mineraalväetised, parandavad külvikorras järgnevate kultuuride toitainetega parema varustamise (Freyer 2002). EMÜ haljasväetiste katsetes põhiline fosfori ja kaaliumi vabanemine maapealsest toimus 6 kuu jooksul. Sellel perioodil vabanes liblikõieliste haljasväetiste maapealsest massist kuni 75–80% P ja 80–90%. Juurtest vabanes kuue kuuga 10–50%, aastaga 70–80% (Talgre *et al.* 2014). Põhiline lämmastiku vabanemine maapealsest biomassist toimus 6 kuu jooksul 40–50% soojemal talvel ja 25–30% külmemal talvel (Talgre *et al.* 2017). Haljasväetiskultuurid oma tugeva juurestikuga kobestavad sügavamaid mullakihte, parandades mullastruktuuri ja soodustavad mullaelustiku tegevust (Lauringson *et al.* 2009).

2.7. Vahekultuuride mõju huumusbilansile

Vahekultuurid (nn püüdja kultuur, catch crop) külvatakse enamasti peale teravilja koristust, et vältida toitainete leostumiset mullas. Selleks ongi kõige sobivam aeg siis, kui on kultuuridest vaba periood. Vahekultuuride kasvatamine suurendab mullas orgaanilise aine hulka, kaitsevad pinnase erosiooni eest, aktiveerib mulla elustikku, vähendab haiguste- ja kahjurite levikut ja surub maha umbrohtude levikut. Vahekultuuride poolt seotud toitained on järgmisel kasvuperioodil kasvatavale kultuurile hästi kätte saadavad ning see tagab parema toitainetega varustatuse.

Kultuuride valikul, mida kasvatada vahekultuurina, peab valima kiirekasvulised taimed. Enamlevinud kultuurid on: valge sinep, keerispea, õlirõigas, rukis, talirüps, tatar. Sobiva taime valik tuleb teha külvikorra järgi, kuna eelviljaks ei ole hea sama liiki kultuur, et vältida haiguste ja kahjurite levikut.

EMÜ katsetes, erinevate vahekultuuri liikidega, viidi kuivainena mulda kuni 3–3,5 tonni orgaanikat (Talgre *et al.* 2011). Uuteks perspektiivseteks vahekultuurideks Eestis on suure biomassiga tillage radish (kesaredis) ja talvekindel talivikk (Toom *et al.* 2017).

Mitmed uurimused näitavad vahekultuuride positiivset efekti mulla füüsikalistele ja keemilistele omadustele (Eichler-Löbermann *et al.* 2008) ja järgneva kultuuri saagile (Kosteckas, Marcinkevičiene 2009).

2.8. Mullaharimise mõju huumusbilansile

Mullaharimise mõju huumusbilansile oleneb suurel määral mullastik-kliimaatilistest tingimustest, külvikorrast ja kasvatavatest kultuuridest. Krawutschke poolt korraldatud pikaajalistes põldkatsetes, Saksamaal erinevatel muldadel, kus võrreldi minimeeritud mullaharimise ja tavakünni mõju muldade huumusseisundile, leiti, et pindmise mullakihi huumusesisaldus minimeeritud mullaharimise korral on küll suurem, kuid tervikuna huumusvaru ei suurenenud oluliselt (0,1–3,1% aastas) (Krawutschke 2007). Kuna muutused on väga minimaalsed, siis Saksamaa teadlaste senised soovitusel on mullaharimisviisi mitte arvestada huumusbilansi arvutuste juures (Krawutschke *et al.* 2009). Minimeeritud mullaharimise ja otsekülvi korral küll orgaanilise aine kontsentratsioon suureneb tavaliselt ülemises kihis, aga samas väheneb lasuvustihedus ja huumusvaru muutust profiili kokkuvõttes ei pruugi esineda (Lauringson 2015).

3. HUUMUSBILANSI KALKULAATORI ARENDUS

Huumusbilansi leidmiseks on mitmeid erineva keerukusega võimalusi: 1) lihtsustatud arvutus huumuse juurdetekke ja lagunemise alusel (st lihtsustatud kalkulaator); 2) mulla ja agrotehnoloogia eripärasid arvestav mudel; 3) simulatsioonimudelid, millega on võimalik prognoosida võimalikke muutusi mullas pikaks perioodiks (nt et milline võiks olla etteantud tingimuste juures huumusvaru 10, 20 või 50 aasta pärast) (Lauringson *et al.* 2015).

Eestis on senini huumusbilanssi arvatatud Valleri ja Vipperi (1999) poolt väljatöötatud tabelite alusel. Väetamise ABC võimaldab enam arvmaterjale huumusbilansi arvutamiseks võrreldes varasemate väljaannetega (Kanger *et al.* 2014), kuid asukohapõhist huumusbilansi arvestust see ei võimalda.

Eesti Maaülikooli rakendusuringu projekti raames oli eesmärk välja töötada Eesti tingimusi arvestav ja praktikas rakendatav põllumuldade huumusbilansi kalkulaator.

Saksamaa teadlased on koostanud kõige enam erinevaid rakenduslikke huumusbilansi mudeleid. Leitholdi (1997) ja teiste saksa teadlaste huumusbilansi mudelid on osaliselt asukohapõhised. Need võtavad osaliselt arvesse mulla omadusi. VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) poolt koostatud huumusbilansi mudel oli edasiarendus eelnevatele, ning mille koostamisel on võetud aluseks pikaajalised põldkatsete tulemused, mis on korraldatud Saksamaal (Engels *et al.* 2010). Eelneva edasiarendus, kus viljelusastmed olid jagatud kolmeks, ilmus VDLUFA väljaandes 2014. aastal (VDLUFA , 2014)

Mujal koostatud andmestik ei ole otseselt ilma eelneva kohandamiseta Eesti tingimustesse ülekantavad. EMÜ projekti raames koostati orgaanilise ainega seonduvate lähteandmete andmebaas, mis on kokku pandud nii Eesti kui ka sarnase mullastikkliimaatilise regiooni teaduslike ja katseandmete töödes avaldatud andmete põhjal. Valideeriti mujal maailmas loodud huumuse tekke ja lagunemise koefitsiente, et hinnata, kuidas ja millisel tasemel on võimalik neid rakendada meie tingimustes (Lauringson *et al.* 2015). Esimene huumuskalkulaatori versioon valmis 2014. aastal. Kalkulaatori edasiarendus oli 2015. aastal (Astover 2015).

Huumusbilansi kalkulaatori kasutamine laiatarbelises tabelarvutusprogrammis (nt Excelis) ja veebirakenduses põhineks tootmisüksuse üldistele ja lihtsasti kasutatavatele andmetele.

4. UURIMISTÖÖ METOODIKA

Metoodika osa koostamise aluseks on võetud Eesti Maaülikooli rakendusüringu „**Huumusbilansi mudel taimekasvatuse jätkusuutlikkuse hindamise töövahendina**“ lõpparuande materjalid (Lauringson *et al.* 2015).

Huumusbilansi arvutamiseks ja sealt saadud tulemi põhjal hinnangu andmisel kasutatakse huumusbilansi kalkulaatorit, mis on välja töötatud Eesti Maaülikooli Põllumajanduse- ja keskkonnainstituudis. Programm on loodud tabelarvutusprogrammi MS Excel tarkvara baasil. Kalkulaator on alla laaditav aadressil:

<http://pk.emu.ee/struktuur/muld/teadustoo/huumusbilansi-kalkulaator/>

Kuna huumusbilanss sõltub tootmistasemest, mullaviljakusest ja teistest omadustest, kasvatatavast kultuurist ja väetamisest, siis ka Eesti Maaülikooli poolt koostatud huumusbilansi algoritmis lähtutakse esmalt konkreetse põllu mulla omadustest nagu huumuse- või orgaanilise süsiniku sisaldusest, lõimisest, lasuvustihedusest ja huumuskihi tusedusest.

Lasuvustiheduse arvutamiseks on kalkulaatori koostamisel lähtutud lõimise vahelisest seosest ja põllumuldade künnikihi huumusesisaldusest. Kalkulaator arvutab lasuvustiheduse eelpoolnimetud näitajate põhjal. Mida suurem on mulla veesisaldus ja mida rohkem on mullas huumust seda väiksem on mulla lasuvustihedus.

Mullakaardilt võetakse huumuskihi tuseduse, lõimise ja koresuse andmed mulla kohta.

Lõimis: liiv (l), saviliiv (sl), kerge liivsavi (ls1), keskmine liivsavi (ls2), raske liivsavi (ls3), savi (s).

Kivisuse astmega tuleb arvestada koreserikastes muldades, mistõttu väheneb ka huumusvaru muldades. Kalkulaatori tabelisse märgitakse mullakaardi andmete põhjal r0 (valik kui ülemises kihis koresevaba muld), r1, r2, r3, r4, r5.

Huumusekihi tusedus (cm) märgitakse tabelisse mullakaardi või välitöödel määramise põhjal.

Huumusesisalduse või süsinikuisalduse protsendi saab kalkulaatori kasutaja PMK-s määratud mullaproovi andmetest. Võimalik märkida: süsinikuisaldus % või huumusesisaldus %.

Kalkulaatori tööväljade täitmiseks valitakse kasvatatav kultuur ja sisestatakse selle kasvupind. Kultuurid on jaotatud kuude gruppi:

1. Teraviljad.
2. Muud kultuurid.
3. Heintaimed
4. Haljasväetised.
5. Kõõgiviljad
6. Mustkesa

Iga grupi juures saab veeru kultuurid valikmenüüst (klõpsates väljale ja noole alt) valida sobiva kultuuri.

Mulda tagastavad huumuse kogused arvutab kalkulaator välja võrrandite abil mulda viidavatest orgaanilise aine koostisest ja kogustest (eri kultuuride biomassi struktuuri suhtarvude alusel) ning lähtuvalt erineva orgaanilise aine humifikatsioonist.

Kalkulaator arvutab erineva orgaanilise aine humifikatsiooni võrrandid lähtuvalt mulda viidavatest orgaanilise aine kogustest ja koostisest. Kalkulaatoris on orgaanilise aine humifikatsiooni aluseks võetud Kolbe (Kolbe 2008; Kolbe 2012) andmed. Kalkulaatori koostajate poolt sisestatud algoritmide abil arvutab kalkulaator huumuse juurde teket.

Mulla huumuse- ja lämmastikuisaldus on tugevas positiivses seoses. Huumuse mineralisatsiooni on otseselt raske määrata, olenevalt mullas kasvatatavast kultuurist ja selle saagitasemest, kuid eelpoolnimetud seost arvestades, arvutab kalkulaator seda kaudselt lämmastiku aktiivbilansi kaudu.

Huumusbilansi mudel arvestab humifikatsiooni erisusi mulla lõimisest tulenevalt. Kalkulaatoris kasutatakse orgaaniliste väetiste humifikatsiooni diferentseerimiseks järgnevaid koefitsiente: liiv 0,75; saviliiv 0,96; kerge ja keskmine liivsavi 1,0; raske liivsavi 0,98; savi 0,95.

Huumusbilansi kalkulaatoris arvestatakse mullaharimise mõjuga. Minimeeritud harimise korral on kalkulaatoris rakendatav koefitsient 1,05.

Eelkäsitletu põhjal võime huumusseisundi muutust põllul kajastada lähtuvalt aktiivbilansist järgmise algoritmiga:

$$H_r = \frac{H_v - H_m + H_{oh} * k_l * k_{mh}}{H_v} * 100$$

kus H_r – mulla huumusvaru muutus, %-des; H_{oh} – mulda viidud orgaanilise aine humifikatsiooni tulemusena tekkinud huumus, Mg/ha; H_v – mulla algne huumusvaru, Mg/ha; H_m – mineraliseerunud huumus, Mg/ha; k_{mh} - orgaanilise aine humifikatsiooni mullaharimisest tingitud paranduskoefitsient; k_l – orgaanilise aine humifikatsiooni lõimisest tingitud paranduskoefitsient; (Lauringson *et al.* 2015).

Uurimistöö tegemiseks koguti andmeid ettevõttest Lakeniidu talu. Töötati läbi kogu info mis puudutab mullaproove, mullaharimisvõtteid, väetamist, külvikorda, saagikust. Töös kasutati kolme viimase aasta saagikusi. Mullaproovid on võetud 2015. a. Nende andmete alusel on sisestatud andmed huumusbilansikalkulaatorisse. Töö tegemisel koguti andmed iga põllu põhiselt.

Kalkulaatori tulemile antakse vastav hinnang (tabel 1)

Tabel 1. Huumuskalkulaatori tulemid (Lauringson *et al.* 2015)

Tabel 14. Huumusbilanss ja huumusvaru (Lääningsoo et al. 2015)		
Algne huumusvaru, t/ha		
Huumusbilanss, kg/ha aastas	Põllupõhiselt ja külvikorra kohta kaalutud keskmisena	
Huumusvaru muutus, % algarvust aastas	Põllupõhiselt ja külvikorra kohta kaalutud keskmisena	
Hinnang huumusbilansi tulemusele		
Huumusbilanss (huumust kg/ha/aastas)	Hinnang	Selgitus
< -350	Väga madal	Negatiivne mõju mullaviljakusele ja saagikusele
-350 kuni - 130	Madal	Ebasoodne madala huumussisaldusega muldadel, lühiajaliselt aktsepteeritav suure huumusvaruga muldadel
-129 kuni + 170	Optimaalne	Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele
+171 kuni +520	Kõrge	Sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele
> +521	Väga kõrge	Suureneb lämmastiku leostumise oht

Töös kasutatavad lühendid:

T- teravili

R - raps

He- hernes

H – heintaimed

Ha – heintaimed haljasväetiseks

5. TULEMUSED JA ARUTELU

5.1. Huumusbilanss Lakeniidu talus

Huumusbilanss Lakeniidu talu põldudel on väga erinev ning samuti mõjutab seda viljavahelduse mitmekesisus, saagikus ja väetamine. Kuna talus pole väga kõrged saagid ning väetamist tehakse põldudel vastavalt majanduslikule võimekusele, siis mullaviljakuse tõstmiseks kasvatatakse punast ristikut ja hernel. Parim huumusseisund on talu viljavaheldusel Lalli põllul haljasväetis-teravili-teravili-teravili-hernes (tabel 5). Sellise viljavaheldusega on talu kaks põldu, mille kogupind on 3,75 ha. Huumusekulu keskmisena on neil põldudel 566,6 kg/ha/a ja huumusvaru muutus 0,70% algvarust. Talu kõige suurema huumuskuluga viljavaheldus on teravili-raps-teravili-teravili-teravili. Sellise viljavaheldusega põlde on talus 35,3 ha. Kõossaare põld on selles viljavahelduses kõige suurema huumusekuluga -304 kg/ha/a ja huumusvaru muutus -0,19% algvarust (tabel 11).

5.1.1. Huumusbilanss Männiku 2 põllul THTTT grupp

Männiku 2 põllul on viljavahelduseks olnud teravili-heintaimed-teravili-teravili-teravili. Punase ristiku põllu rajamiseks külvati 2012. aastal kaer allakülviga. Teraviljale allakülv (2013. aastal) näitab, et suudab hoida huumusvaru positiivsena andes samal ajal ka head teravilja saaki. EMÜ uurimused näitasid, et katteviljaga külvide korral moodustus vegetatsiooni perioodi lõpuks juurte biomassi kuivaines 1,8–3,9 tonni/ha (Lauringson *et al.* 2011). Osa sellest juurtemassist pidevalt uueneb. Lisaks sellele juurtemassile, mis moodustub vegetatsiooni perioodi lõpuks, mõjutab mulla huumuseseisundit ka taimiku kasvuajal mulda lagunenuid juurte mass. Liblikõielistel heintaimedel on lagunenuid juurtemass 1–2 korda suurem kui põhijuurtemass vegetatsiooniperioodi lõpus (Hoyer 2009). Peenjuured ja juurekarvad lagundatakse suhteliselt kiiresti mikroorganismide poolt (Steingrobe *et al.* 2001). Nende humifikatsioonikoefitsiendiks on Hoyeri (2009) andmetel ligikaudu 14%. Lisaks juurte biomassile mineraliseerub ka mulla pinnale jääv ristiku ädal ja teravilja põhk. Punase ristiku kasvatamine järgneval aastal on liblikõieliste heintaimede positiivset mõju huumusbilanssile veelgi suurendanud. Kuigi 2016. aastal on olnud suvinisu huumuskuluks

-333 kg/ha/a, siis huumusbilanss on püsinud positiivne tänu punase ristiku kasvatamisele, mille tulemusel suurenes huumusvaru 1013 kg/ha/a. Viie aasta jooksul on huumusvaru keskmiselt suurenenud 97 kg/ha/a. Selline viljavaheldus tagab hea saagikindluse, ning sobib kasvatamiseks erineva huumussisaldusega muldadel. Sellise viljavaheldusega on veel Kivila, Tamme ja Sorso põllud (Lisa 9, 10, 11).

Tabel 2. Huumusbilanss viljavahelduses teravili-heintaimed-teravili-teravili-teravili

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha		Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Männiku 2 põllul THTTT grupp (Teravili, heintaimed, teravili, teravili, teravili)													
2012	Kaer	4,3	jah	jah	1,5	sl	22	r ₁	60	78	0,01	8	
2013	Punane ristik	10 (silo)			1,5	sl	22	r ₁	-	78	1,31	1013	
2014	Talinisu	4,1	jah	ei	1,5	sl	22	r ₁	80	78	-0,14	-105	
2015	Oder	4,9	jah	ei	1,5	sl	22	r ₁	70	78	-0,13	-100	
2016	Suvinisu	3,9	jah	ei	1,5	sl	22	r ₁	70	78	-0,43	-333	
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine		0,12	97	
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele													

5.1.2. Huumusbilanss Tsua 1 põllul TTHHaT grupp

2014. aasta punase ristiku huumusbilanss on madal selletõttu, et ristiku haljasmass anti naaber talunikule siloks. Tegemist oli esimese aasta ristikuga, mis rajati 2014. aastal katteviljata külvina. Kuna ristiku kasvamiseks ei antud juurde lisa lämmastikku, siis eemaldati biomassiga enamvähem sama suures koguses lämmastikku, kui mügarbakterid mulda juurde sidusid.

Tabel 3. Huumusbilanss viljavahelduses teravili-teravili–heintaimed–haljasväetis–teravili (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastal
Huumusbilanss Tsua 1 põllul TTHHaT grupp (Teravili, teravili, heintaimed, haljasväetis, teravili)											
2012	Kaer	4,0	jah	1,2	sl	24	r ₁	70	69	-0,14	-100
2013	Oder	3,0	jah	1,2	sl	24	r ₁	70	69	-0,14	-100
2014	Punane ristik	10 (silo)		1,2	sl	24	r ₁	-	69	0,04	27
2015	Punane ristik	Väike (haljasväetis)		1,2	sl	24	r ₁	-	69	3,36	2333
2016	Talinisu	3,8	jah	1,2	sl	24	r ₁	90	69	0,02	15
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,63	435
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele											

Punase ristiku juurte mass sõltub kasvuaasta tingimustest. Eesti Maaülikooli katsetes moodustus katteviljata punase ristiku külvi korral oktoobriks, olenevalt aastat, hektari kohta 2–3,8 tonni juurte biomassi (Lauringson *et al.* 2011). Kuna 2015. aastal jäeti biomass põllule ning künti mulda, siis selle tulemusel suurendati huumusevaru mullas ning järgmise aasta talinisule saagi moodustamiseks vajaminev toitainete hulk oli piisav ja huumusvaru vähenemist mullas ei toimunud. Liblikõieliste haljasväetiskultuuridega seotakse aastast bioloogilisse ringesse küllalt suured kogused fosforit ning eriti kaaliumi. Järelikult on oluline, et haljasväetiste kogu biomass küntakse mulda, sest kui maapealne biomass eemaldatakse põllult, siis eriti maheviljeluses, kus mineraalväetisi ei kasutata võivad mullad toitainetest vaesuda (Talgre 2013).

Sellise viljavaheldusega põlde on talus 13,4 ha. Viljavaheldus teravili-teravili-heintaimed-haljasväetis-teravili on huumusbilansi seisukohast väga hea, kuna toimub huumuse juurde tootmine, aga majanduslikult on ebamõistlik, kui talus pole loomakasvatust. Piisaks täiesti ühest aastast punase ristiku kasvatamisest. Lisaks Männiku 2 põllule on Ojametsa ja Lõokese põllud samasuguse viljavaheldusega (Lisa 1, 2).

5.1.3. Huumusbilanss Väetiseküüni 2 põllul TTHHaHe grupp

Kuna tegu on väheviljaka põlluga, siis huumusvaru suurendamiseks on kasvatatud liblikõielisi kultuure. Huumusbilanss on küll kõrge haljasväetise sissekännist, mis tõstis seda mullas 1781 kg/ha/a (tabel 4).

Tabel 4. Huumusbilanss viljavahelduses teravili-teravili-heintaimed-haljasväetis-hernes (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Väetiseküüni 2 põllul TTHHaHe grupp (Teravili, teravili, Heintaimed, haljasväetis, hernes)												
2012	Kaer	3,0	jah	ei	1,0	1	20	r ₁	60	49	-0,20	-100
2013	Kaer	2,8	jah	jah	1,0	1	20	r ₁	60	49	0,29	130
2014	Punane ristik	1,5 (hein)		ei	1,0	1	20	r ₁	-	49	0,00	0
2015	Punane ristik	Väike (haljasväetis)		ei	1,0	1	20	r ₁	-	49	3,64	1781
2016	Hernes	1	jah	ei	1,0	1	20	r ₁	-	49	0,53	261
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Keskmine	0,85	414
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele												

Kuigi nii Tsua 1 põllul kui Väetiseküüni põllul künti punane ristik mulda ja haljasmassi saaki hinnati mõlemal väikseks, on esimesel põllul tulemiks 2333 kg/ha/a, teisel põllul 1781 kg/ha/a. Tulemuste erinevus tuleb sellest, et Tsua põllul on saviliiv muld, Väetiseküüni põllul aga huumusevaene liivmuld. Huumusbilansi mudelis on mulla lõimisest tulenevat humifikatsiooni erisusi arvestatud. Kalkulaator arvestab liivmuldade puhul mulda viidud orgaanilise aine humifikatsiooni vähendamist 20–30% (Lauringson *et al.* 2015). Teistel lõimistel on korrigeerimisvajadus väiksem. Väetiseküüni põllul oli viljavahelduses ka hernes ning huumusebilanss paranes 261 kg/ha/a võrra. Kangeri *et al.* (2014) ja Vipperi (1999) andmetel suurendab hernes külvikorras huumusevaru 150–700 kg/ha/a, sõltuvalt saagikusest, lõimisest jne. Kuna antud põllul oli saagikus võrreldes talu teiste herne põldude

tagasihoidlikum ja lõimiseks liiv, siis ka huumuseisundile oli mõju väiksem võrreldes Lalli (490 kg/ha/a) ja Männiku põlluga (848 kg/ha/a). Vaatamata selle, et huumusvaru muutus teiste põldudega aasta kohta tagasihoidlikumalt, paranes huumusseisund viljavahelduse kokkuvõttes oluliselt. Põhjuseks, viiest aastast neljal oli põllul liblikõieline (allakülv 2 põldu punast ristikut ja hernes). Viljavahelduses teravili-teravili-heintaimed-haljasväetis-hernes on mõningane oht lämmastiku leostumisele, kuid arvestades seda, et tegemist on küllaltki madala huumusesisaldusega mullale, siis see viljavaheldus sobib Väetiseküüni põllule.

5.1.4. Huumusbilanss Lalli põllul HaTTThe grupp

Tabel 5. Huumusbilanss viljavahelduses haljasväetis-teravili-teravili-teravili-hernes (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastal
Huumusbilanss Lalli põllul HaTTThe grupp (Haljasväetis, teravili, teravili, teravili, hernes)											
2012	Punane ristik	Keskmine haljasväetis		1,2	sl	22	r ₁	-	64	4,32	2745
2013	Oder	4,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,22	-138
2014	Talinisu	3,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	80	64	-0,16	-100
2015	Oder	4,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,21	-131
2016	Hernes	2,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	-	64	0,77	490
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,90	573
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Väga kõrge, suureneb lämmastiku leostumise oht											

Lalli põllul on kasutatud haljasväetis-teravili-teravili-teravili-hernes viljavaheldust, mis on andnud positiivse tulemuse. Samuti on samasuguse viljavaheldusega Lakeniidu põld (Lisa 12). Punase ristiku sissekünd on positiivselt mõjunud huumusbilansile 2745 kg/ha/a, kuid suur oht on lämmastiku leostumisele. Lämmastiku mullast väljaleostumise oht tekib, kui sügisel viiakse mulda suur kogus lämmastikurikast orgaanikat ning taimede poolt jääb kasutamata nitraatset lämmastikku (Lasa *et al.* 2001). Seetõttu tuleks liblikõieliste biomass künda sügisel hilja või järgmise aasta kevadel (Viil, Vösa 2005; Lauringson 2011).

Herne järgselt on huumusbilanss suurenenud 490 kg/ha/a. Sellise viljavahelduse juures võiks punase ristiku asendada näiteks kaeraga, sest herne kasvatamine suudab hoida huumusbilansi optimaalsel tasemel.

5.1.5. Huumusbilanss Tsau 2 põllul TRTTHa grupp

Tabel 6. Huumusbilanss viljavahelduses teravili-raps-teravili-teravili-haljasväetis (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org. %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Tsau 2 põllul TRTTHa grupp (Teravili, raps, teravili, teravili, haljasväetis)												
2012	Kaer	4,0	jah	ei	1,2	sl	24	r ₁	70	69	-0,14	-100
2013	Raps	1,5	jah	ei	1,2	sl	24	r ₁	80	69	-0,14	-100
2014	Oder	3,0	jah	ei	1,2	sl	24	r ₁	90	69	-0,14	-100
2015	Oder	2,0	jah	jah	1,2	sl	24	r ₁	70	69	0,19	130
2016	Punane ristik	Väike (haljasväetis)		ei	1,2	sl	24	r ₁	-	69	3,36	2333
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Kesk- mine	0,62	433
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele												

Tsua 2 põllul kasutatud viljavaheldus teravili-raps-teravili-teravili-haljasväetis on andnud põllule kõrge viie aastase huumusbilansi 433 kg/ha/a. Kangeri *et al* (2014) ja Vipperi (1999) andmetel teraviljad raps vähendavad huumusevaru ligikaudu 1000 kg/ha/a. Huumusevaru vähenemist kompenseerib tagasiantav põhk. Eelnevate autorite andmetel 1000 kg põhku annab keskmiselt tagasi 200 kg/ha/a huumust. Talus põhku ei koristata, vaid peenestatakse ja viiakse mulda tagasi. Mulla omadustest ja kliimaatilistest tingimustest sõltub oluliselt põhu lagunemiskiirus ja humifikatsioonikoefitsient (Kanal 1995; Engels *et al.* 2010). 2015. aasta odra põllul muudab huumusbilansi positiivseks punase ristiku allakülv. Kuna sellel põllul saagikus langes aastatel 2014–2015, siis otsustati jätta 2016. aastal punane ristik haljasväetiseks ning seeläbi parandada mulla huumusvaru. Punane ristik on suurendanud

huumusbilanssi 2333 kg/ha/a ning huumusvaru muutus on 3,36% algvarust, mis loob head eeldused järgnevatele kultuuridele.

5.1.6. Huumusbilanss Masti põllul, THHHT grupp

Masti põllu huumusbilanss on optimaalne, kuna on kasvatatud põldheina, kus liblikõieliste hulk on olnud 50%. See põld tuli talu kasutusse 2015. aastal. Varasemalt kasutas seda piimakarja kasvataja. 2013. ja 2014. aastal on huumusebilanss olnud null. 2013. aastal tehti hein siloks ning ära viidud biomassi hulgaga tekkis huumust mulda samas koguses tagasi. 2014. aastal tehti põllult heina ning ära viidud biomassi tõttu ei suurenenud huumusvaru, sest juurde ei antud lisa toitaineid. 2015. aastal viidi küll biomass põllult ära, aga sisseküntud juured ning väike biomassi kogus suurendasid huumuse varu 248 kg/ha kohta. Selline viljavaheldus on küll optimaalne mulla huumusbilansi kohta, aga kui loomakasvatus puudub, siis on see majanduslikult ebasobiv. Sellise viljavaheldusega on talus veel Kelleri, Värsi ja Kündja põllud (Lisa 3, 4, 5).

Tabel 7. Huumusbilanss viljavahelduses teravili-heintaimed-heintaimed-heintaimed-teravili (2012–2016.aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvavust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Masti põllul THHHT grupp (Teravili, heintaimed, heintaimed, heintaimed, teravili)											
2012	Suvinisu	3,1	jah	1,5	sl	24	r ₁	60	85	-0,19	-157
2013	Põldhein	10 (silo)		1,5	sl	24	r ₁	-	85	0,00	0
2014	Põldhein	3 (hein)		1,5	sl	24	r ₁	-	85	0,00	0
2015	Põldhein	3 (hein)		1,5	sl	24	r ₁	-	85	0,29	248
2016	Taliniisu	4,1	jah	1,5	sl	24	r ₁	70	85	-0,12	-100
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,00	-2
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

5.1.7. Huumusbilanss Tähe põllul HHHTR grupp

Tabel 8. Huumusbilanss viljavahelduses heintaimed-heintaimed-heintaimed-teravili-raps (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Tähe põllul HHHTR grupp (Heintaimed, heintaimed, heintaimed, teravili, raps)											
2012	Põldhein	2,1 (hein)		1,5	sl	27	r ₁	-	95	0,00	0
2013	Põldhein	2,6 (hein)		1,5	sl	27	r ₁	-	95	0,00	0
2014	Põldhein	2,5 (hein)		1,5	sl	27	r ₁	-	95	0,21	201
2015	Oder	4,8	jah	1,5	sl	27	r ₁	80	95	-0,32	-305
2016	Raps	2,0	jah	1,5	sl	27	r ₁	90	95	-0,10	-100
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,04	-41
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Tähe põllu viljavaheldus on optimaalne, mis tuleneb 2014. aasta heintaimede juurte ning mingil määral ka biomassi sissekünni mõjust mulda.

2012–2013. aasta andmetest selgub, et huumusbilanss on olnud 0 kg/ha/a, kuid see tuleneb sellest, et põllult eemaldati heintaimede biomass. Kuna lisa lämmastikku ei antud, siis juurte lagunemisest ning mingil määral ka liblikõieliste taimede mügarbakterite poolt seotud lämmastikust mulda on kompenseerinud huumusvaru püsimise samal tasemel. Põldheina mõju väikest mõju huumusbilansile mõjutab ka see, et liblikõieliste osatähtsus taimikus oli 20%. Biomassi ja juurte lagunemise mõju kestab kauem kui üks aasta (Talgre *et al.* 2017) siis seega heintaimede positiivne mõju huumusbilansile mõjutab ka järgnevate kultuuride odra ja rapsi kasvutingimusi. Odra ja rapsi mõju huumusbilansile jääb antud põllul negatiivseks.

5.1.8. Huumusbilanss Sulevi põllul HHHHR grupp

Tabel 9. Huumusbilanss viljavahelduses heintaimed-heintaimed-heintaimed-heintaimed-raps (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastal
Huumusbilanss Sulevi põllul HHHHR grupp (Heintaimed, heintaimed, heintaimed, heintaimed, raps)											
2012	Heintaimed	2,0 (hein)		1,5	sl	25	r ₁	-	88	0,00	0
2013	Heintaimed	2,5 (hein)		1,5	sl	25	r ₁	-	88	0,00	0
2014	Heintaimed	2,1 (hein)		1,5	sl	25	r ₁	-	88	0,00	0
2015	Heintaimed	2,1 (hein)		1,5	sl	25	r ₁	-	88	0,20	172
2016	Raps	2,0	jah	1,5	sl	25	r ₁	80	88	-0,11	-100
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,02	14
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Sulevi põllu viljavaheldus on olnud heintaimed-heintaimed-heintaimed-heintaimed-raps. Põld oli aastatel 2012–2015 püsirohumaal ning 2016. aastal otsustati hakata seda harima. 2012.–2014. aastal kasutati põldu heina tegemiseks. Kuna lisa lämmastikku biomassi kasvamiseks ei antud, siis mullas lagunevad juured ning sügiseks kasvanud biomass on kompenseerinud ära viidud heina kasvamiseks kulunud toitained ja seetõttu huumusbilanss ei suurene. Liblikõieliste osatähtsus taimikus oli madal, 20%.

5.1.9. Huumusbilanss Raubamäe põllul RTRTT grupp

Tabel 10. Huumusbilanss viljavahelduses raps-teravili-raps-teravili-teravili (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastal
Huumusbilanss Raubamäe põllul RTRTT grupp (Raps, teravili, raps, teravili, teravili)											
2012	Raps	2,1	jah	1,2	sl	24	r ₁	80	69	-0,14	-100
2013	Suvinisu	3,5	jah	1,2	sl	24	r ₁	70	69	-0,14	-100
2014	Raps	2,0	jah	1,2	sl	24	r ₁	90	69	-0,14	-100
2015	Oder	5,0	jah	1,2	sl	24	r ₁	70	69	-0,48	-334
2016	Oder	3,1	jah	1,2	sl	24	r ₁	70	69	-0,14	-95
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,21	-146
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Madal, ebasoodne madala huumussisaldusega muldadel, lühiajaliselt aktsepteeritav suure huumusvaruga muldadel											

Raubamäe põllul kasutatud viljavaheldust raps-teravili-raps-teravili-teravili ei ole mulla huumusvaru seisukohast kehtvalt jätkusuutlik. Toimub mulla viljakuse langus ning seeläbi kasvatava kultuuri saagi langus. Keskmisena on viie aasta jooksul mulla huumus vähenenud -146 kg/ha/a. Kõige rohkem on vähendanud huumusvaru 2015. aastal odra kasvatamisel, mille huumuskulu oli -334 kg/ha/a. Kuna saak oli sel aastal kõrgem kui eelnevatel aastatel ning lämmastiku andmine ei katnud ära saadud saagiks kujunenud vajaduse, siis puudujääv osa saadi huumusvaru arvelt.

Sellise viljavahelduse juures, kus rapsi kasvatatakse liiga tihedalt, on oht nuutri tekkeks mullas, mis vähendab saagikust.

Kuigi põhk viidi põllule tagasi ei kompenseerinud see mineralistasiooniga tekkivat huumuse kulu. Mulda viidava põhu süsinikust läheb huumuse koostisse ligikaudu 20%, kuid mulla süsiniku varust mineraliseerub aastal ~2%. Sellest tulenevalt ainult põhku mulda viies jääb huumuse bilanss teravilja ja rapsi kasvatamise korral negatiivseks. Teraviljatalus, kus põhk koristatakse ja mulda viiakse pärast saagi koristamist ainult tüü, varis ja taimejuured, on

humusvaru vähenemine mitu korda suurem kui seda mulda viidavast orgaanilisest ainest juurde tekib. Teraviljakasvatamisel humusbilansi ja lämmastikumajanduse seisukohast olukord paraneb tunduvalt, kui tehakse liblikõieliste allakülv teraviljale (nt ristik või mesikas).

5.1.10. Humusbilanss Kõossaare põllul TTRTT grupp

Tabel 11. Humusbilanss viljavahelduses teravili-teravili-raps-teravili-teravili (2012-2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Humusbilanss Kõossaare põllul TTRTT grupp (Teravili, teravili, raps, teravili, teravili)											
2012	Kaer	3,9	jah	2,8	sl	25	r ₁	60	157	-0,18	-276
2013	Oder	4,2	jah	2,8	sl	25	r ₁	80	157	-0,21	-330
2014	Raps	1,9	jah	2,8	sl	25	r ₁	90	157	-0,30	-473
2015	Nisu	4,3	jah	2,8	sl	25	r ₁	90	157	-0,16	-254
2016	Oder	3,5	jah	2,8	sl	25	r ₁	80	157	-0,12	-189
Kalkulaatori hinnang humusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,19	-304
Hinnang humusbilansi tulemusele: Madal, ebasoodne madala huumussisaldusega muldadel, lühiajaliselt aktsepteeritav suure huumusvaruga muldadel											

Talu halvimaks viljavahelduseks osutus teravili-teravili-raps-teravili-teravili. Sellise viljavaheldusega põlde on talus 35,3 ha. Mõju humusbilansile on Kõossaare põllul -304 kg/ha/a ning humusvaru muutus -0,19%. Kõige rohkemat mõju on avaldunud rapsi kasvatamine, kus huumuskulu on -473 kg/ha/a ning kõige vähem 2016. aasta oder, kus huumuskulu on -186 kg/ha/a.

Keskmisena sellise viljavaheldusega põldude huumuskulu on -132,8 kg/ha/a ning humusvaru muutus -0,16%. Keskmine on väiksema huumuskuluga sellepärast, et osadel põldudel on tehtud teraviljale liblikõieliste allakülv, mille biomassi mulda viimisega suurendatakse humusvaru (Lisa 6, 7, 8).

Külvates Kõossaare põllule 2017 aastal herne, siis hernes kasvatamine suurendaks huumusseisundit 758 kg/ha/a ning huumusvaru muutus oleks 0,48%. Põllu kogu viljavahelduse huumusbilanss oleks -127 kg/ha/a ja huumusvaru muutus -0,08%. Kalkulaatori hinnang sellise viljavaheldusega oleks: optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele (Lisa 13).

Kui teha Kõossaare põllule 2017 aastal punase ristiku puhas külvi, siis suurendaks see huumusbilanssi 2564 kg/ha/a ja huumusvaru muutus oleks 1,63%. Viljavahelduse keskmine tuleks põllul 174 kg/ha/a ning huumusvaru muutus 0,11%. Kalkulaatori hinnang viljavaheldusele: kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele (Lisa 14).

5.1.11. Huumusbilanss Männiku põllul TRTheT grupp

Tabel 12. Huumusbilanss viljavahelduses teravili-raps-teravili-hernes-teravili (2012–2016. aastal)

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Männiku põllul TRTheT grupp (Teravili, raps, teravili, hernes, teravili)											
2012	Oder	4,2	jah	1,5	sl	22	r ₁	70	78	-0,25	-192
2013	Raps	1,9	jah	1,5	sl	22	r ₁	80	78	-0,13	-100
2014	Oder	5,1	jah	1,5	sl	22	r ₁	90	78	-0,36	-281
2015	Hernes	3,8	jah	1,5	sl	22	r ₁	-	78	1,09	848
2016	Oder	3,2	Jah	1,5	sl	22	r ₁	80	78	-0,13	-100
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,05	35
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Viljavahelduses teravili-raps-teravili-hernes-teravili on küll teraviljana kasvatatud Männiku põllul ainult otra, kuid herne kasvatamine on hoidnud huumusseisundi positiivsena ehk viie aasta keskmisena on põllu huumusbilanss 35 kg/ha/a, mis on optimaalne ning tagab saagikindluse. Rapsi ja herne viljavahelduses kasvatamisel peaks nende kultuuridel jätma kasvatamise vaheks 2 aastat, kuna nendel kultuuridel on sarnased haigustekitajad

(valgemädanik) (Ilumäe 2013). Suurema herne saagikuse korral tagastub mulda ka rohkem põhku. Võrreldes Lalli aga eriti Vätisküüni põlluga, on Männiku põllul herne positiivsem mõju, 3.8 tonnise saagikuse korral, tunduvalt suurem.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli hinnata Lakeniidu talu muldade huumusseisundit Eesti Maaülikooli Põllumajanduse- ja keskkonnainstituudis välja töötatud huumusbilansi kalkulaatori abil ning anda analüüsitulemustelt lähtuvalt soovitusel huumusseisundi korrastamiseks. Programm on loodud tabelarvutusprogrammi MS Excel tarkvara baasil. Kalkulaatori tulem väljendatakse huumusbilansina: huumust kg/ha aastas ja huumusvaru muutusena, % algsest huumusvarust aastas. Kalkulaator võimaldab anda tulemit konkreetse põllu kui ka kogu külvikorra kohta. Analüüsi tegemiseks koguti Aare Kunnuse käest tema talu andmed, mis puudutasid talu üldiseloomustust, tööjõudu, maafondi, kasvatatavaid kultuure, saagi andmed ja masintehnoloogiat. PMA laboris määratud C_{org} ja mullastiku kaardi andmed sisestati kalkulaatori andmebaasi. Huumusbilansi hindamiseks võeti talu viie viimase tootmisaasta 2012–2016 kultuuride saagikuse ja väetamise andmed.

Lakeniidu talu külvipinda on 160 hektarit. Põhitegevusalaks on teravilja-, kaunvilja- ja õlikultuuride kasvatus. Lakeniidu talu muldade aluspõhjaks on ülemdevoni ladestik. Aluspõhi on kõikjal kaetud pinnakattega, milleks on punakaspruun karbonaadivaene moreen. Karbonaadivaesel moreenil on kujunenud peamiselt näivleetunud mullad. Koresus on ülemistes kihtides väike. Selle piirkonna muldadele on iseloomulik madal huumusesisaldus ja muldade hapestumine.

Talus loomapidamine puudub ning seepärast kasvatatakse huumuse taastootmise eesmärgil liblikõielisi kultuure punast ristikut ja hernest. Samuti küntakse mulda purustatud põhk huumuse taastootmise eesmärgil.

Talu põldudel kasutatud viljavaheldused:

1. Teravili-heintaimed-teravili-teravili-teravili
2. Teravili-teravili-heintaimed-haljasväetis-teravili
3. Teravili-teravili-heintaimed-haljasväetis-hernes
4. Haljasväetis-teravili-teravili-teravili-hernes
5. Teravili-raps-teravili-teravili-haljasväetis
6. Teravili-heintaimed-heintaimed-heintaimed-teravili
7. Heintaimed-heintaimed-heintaimed-teravili-raps

8. Heintaimed-heintaimed-heintaimed-heintaimed-raps
9. Raps-teravili-raps-teravili-teravili
10. Teravili-teravili-raps-teravili-teravili
11. Teravili-raps-teravili-hernes-teravili

Huumusbilansi analüüsi tulemustest tuli välja, et kõige negatiivsema mõjuga viljavaheldus on raps – teravili – raps – teravili – teravili. Sellise viljavaheldusega põlde on talus 12,5 ha ehk 7,8%. Mõju huumusbilansile sellise viljavaheldusega keskmisena on -146 kg/ha/a ja -0,21% huumuse üldvarust. Kalkulaatori hinnang: Madal. Ebasoodne madala huumussisaldusega muldadel, lühiajaliselt aktsepteeritav suure huumusvaruga muldadel. Sarnase hinnangu sai ka viljavaheldus teravili – teravili – raps – teravili – teravili. Viljavahelduse keskmisena huumuse kulu -132,84 kg/ha/a ehk -0,16% huumuse üldvarust.

Kõige huumuse tulu toovamaks viljavahelduseks osutus haljasväetis – teravili – teravili – teravili – hernes. Kalkulaatori hinnang: Kõrge. Sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele. Huumuse tulu viljavahelduse keskmisena on 501,6 kg/ha/a ehk 0,61% huumuse üldvarust.

Talu kogu põldude keskmisena on huumuse tulu 145 kg/ha/a ehk 0,22% huumuse üldvarust. Kalkulaatori hinnang talu põldudele on: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadel.

Suurimaks huumussisalduse tõstjaks põldudel kujunes punase ristiku kasvatamine haljasväetiseks. Positiivselt mõjutas huumusbilanssi ka põldheina (liblikõieline + kõrreline heintaim) ja herne kasvatamine külvikorras.

Nõuanded optimaalse huumuse sisalduse hoidmiseks talu põldudel:

Kuna talu põldude huumussisaldus on madal, siis jätkata punase ristiku kasvatamist haljasväetisena.

Suurema huumussisaldusega muldadel võib punase ristiku kasvatamise asendada herne kasvatamisega.

Katteviljaga punase ristiku allakülvil võib teostada sügisese ädala sissekünni.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Allmaras, R.R., Linden D.R. & Clapp C.E.** (2004). Corn-Residue Transformations into Root and Soil Carbon as Related to Nitrogen, Tillage and Stover Management. – *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68. pp. 1366–1375.
2. **Astover, A., Kõlli, R., Roostalu, H., Reintam, E., Leedu, E.** (2012). Mullateaduse õpik kõrgkoolidele. (Koostaja Alar Astover) 273 lk.
3. **Astover, A.** 2015. Eelanalüüs ja ettepaneku koostamine projekti „Huumusbilansi kalkulaatori edasiarendus ja taimetoitainete bilansikalkulaatori arendus põllu- ning taluvärra (ettevõtte) põhiseana. Projekti lõpparuanne.
<http://www.pikk.ee/valdkonnad/teadusinfo/rakendusuringud/aruanded-2012-2016#.WQNFHcbfOUk> (10.04.2017)
4. **Bastian, F., Bouziri, L., Nicolardot, B., Ranjard L.** (2009). Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. – *Soil Biology & Biochemistry*. Nr. 41. pp. 262–275.
5. **Bolinder, M.A., Angers, D.A. Giroux M.& Laverdière, M.R.** (1999). Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn. – *Plant and Soil*. Nr. 215: pp. 85–91.
6. **Campbell, C.A., Lafond, G.P., Zentner, R.P., Biederbeck, V.O.,** (1991). Influence of fertilizer and straw baling on soil organic matter in a thick black chernozem in Western Canada. – *Soil Biology and Biochemistry*, 23, pp. 443–446.
7. **Conklin, A. E., Erich, M. S., Liebman, M., Lambert, D., Gallandt E. R., Halteman, W. A.** (2002). Effects of red clover (*Trifolium pratense*) green manure and compost soil amendments on wild mustard (*Brassica kaber*) growth and incidence of disease. – *Plant and Soil*, 238, (2), pp. 245–256.
8. **Eichler-Löbermann, B., Köhne, S., Kowalski, B., Schnug, E.** (2008). Effect of catchcropping on phosphorus bioavailability in comparison to organic and inorganic fertilization. – *J. Plant Nutr.* 31, pp. 659–676.
9. **Engels, C., Reinhold, J., Ebertseder, T., Heyn, J.** (2010). Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen, VDLUFA Speyer, F&E-Vorhaben, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben.
<http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/SchlussberichtGesamt201010.pdf> (15.04.2017)

10. **Eriksen-Hamel N. S., Speratti A. B., Whalen J. K., Legere A., Madramootoo, C. A.** (2009). Earthworm populations and growth rates related to long-term crop residue and tillage management. – *Soil and Tillage Research*, 104, pp. 311–316.
11. **Freyer, B.** (2003). Fruchtfolge. *Eugen Ulmer GmbH & Co.* 230 S.
12. **Hoyer, U.** (2009). Ermittlung der Humusersatzleistung von Kulturpflanzen anhand eines C-Algorithmus. S. 112–119.
13. **Ilumäe, E.** (2013). Talirapsi kasvatamine. EMVI, Saku. 98 lk.
14. **Johnson, J.M., Allmaras R.R. & Reicosky, D.C.** (2006). Estimating Source Carbon from Crop Residues, Roots and Rhizodeposits Using the National Grain-Yield-Database. – *Agronomy Journal* 98: pp. 622–636.
15. **Järvan, U., Kanger, J., Kevvai, L., Sisask, M., Tüür, R.** (1996). Eesti haritava maa agrookeemilise seisundi kujunemine. – *EPMÜ teadustööde kogumik*, 187, lk 15–22.
16. **Kanal, A.** (1995). Effect of incorporation depth and soil climate on straw decomposition rate in a loamy Podzoluvisol. – *Biol Fertil Soils* 20, pp. 190–196.
17. **Kanal, A., Kölli, R.** (1999). Elusjuurte ja nekrootilise fütorgaanilise aine jaotumine künnikihis sõltuvalt kultuurrohumaa kasutustüübist. – *EPMÜ Teadustööde kogumik*. Agronoomia, 203. lk 27–32.
18. **Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H., Astover, A., Ilumäe, E., Lauringson, E., Loide, L., Penu, P., Rooma, L., Sepp, K., Talgre, L., Tamm, U.** (2014). Väetamise ABC. 50 lk.
19. **Kanger, J., Kärblane, H., Kevvai, L., Püssa, A.** (2002). Väetamise mõju mulla humusseisundile. – *Agraarteadus* 5, lk 287–292.
20. **Kolbe, H.** (2008). Einfache Verfahren zur Berechnung der Humusbilanz für konventionelle und ökologische Anbaubedingungen. http://orgprints.org/13626/1/kolbe-2008-13626-VeroeffProgramm_BEFU_BerechnungHumusbilanz.pdf (20.02.2017)
21. **Kolbe, H.** 2012. Bilanzierungsmethoden und Versorgungsniveau für Humus. Schriftenreihe, Heft 19/2012. 103 S. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13615> (27.03.2017)
22. **Kosteckas, R., Marcinkevičiene, A.** (2009). The integrated evaluation of the influence of catch crops and manure on spring barley agroecosystem in organic farming. – *Agronomy Research* 1, pp. 355–362.
23. **Krawutschke, M.** (2007). Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung auf Gehalt und Dynamik der organischen Bodensubstanz in Ackerböden sowie deren Bedeutung für die Humusbilanzierung. Masterarbeit. <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2007/4516/pdf/KrawutschkeManuel-2007-03-12.pdf> (25.02.2017)
24. **Krawutschke, M., Brock, C., Leithold, G.** (2009). Humusmenge in der Ackerkrume nach langjährig differenzierter Intensität der Grundbodenbearbeitung. Beiträge zur 10. –

Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, S. 45–48.

http://orgprints.org/13987/1/Krawutschke_13987.pdf (25.02.2017)

25. **Kuzyakov, Y., Schneckenberger, K.** (2004). Review of estimation of plant rhizodeposition and their contribution to soil organic matter formation. – *Arch. Agron. Soil Sci.* 50, pp. 115–132.
26. **Kuzyakov, Y., Schneckenberger, K.** (2004). Review of estimation of plant rhizodeposition and their contribution to soil organic matter formation. – *Arch. Agron. Soil Sci.* 50, pp. 115–132.
27. **Kõlli, R., Köster, T., Kauer, K.** (2006). Põllumulla huumusseisundi optimeerimise võimalikkusest. – *Agronoomia* 2006. lk 9–13.
28. **Lal, R.** (2009). The Plow and Agricultural Sustainability. – *Journal of Sustainable Agriculture*, 33. pp. 66–84.
29. **Lasa, B., Frechilla, S., Lamsfus, C., Aparicio-Tejo, P.M.** (2001). The sensitivity to ammonium nutrition is related to nitrogen accumulation. – *Scientia Horticulturae*, 91, (1–2), pp. 143–152.
30. **Lauringson, E., Astover, A., Roostalu, H., Kauer, K., Talgre, L., Penu, P., Loide, V.** (2015). Huumusbilansi mudel taimekasvatuse jätkusuutlikkuse hindamise töövahendina. http://www.pikk.ee/upload/files/Lauringson_Astover_jt_Lopparuanne_Huumusbilansi_mudel_taimakasvatuse_jatkusuutlikkuse_hindamise_toovahendina.pdf (20.03.2017)
31. **Lauringson, E., Talgre, L., Kuht, J., Makke, A.** (2009). Liblikõieliste haljasväetiskultuuride järelmõju mulla lasuvustihedusele ja vihmausside arvukusele. – *Agronoomia* 2009, lk 48–53.
32. **Lauringson, E., Talgre, L., Roostalu, H., Makke, A.** (2011). Mulla huumusseisundi ja toitainete bilansi reguleerimise võimaluste ning haljasväetiskultuuride fütoproduktiivsuse selgitamine tava- ja maheviljeluse tingimustes. Rakendusuuringu lõpparuanne. www.pikk.ee/upload/files/Teadusinfo/Lauringson_PMaruanne.pdf (15.03.2017)
33. **Lauringson, E., Talgre, L., Roostalu, H.** (2006). Haljasväetiskultuuride orgaanika moodustumise ja lämmastiku sidumise võime ning selle mõju järelkultuuride saagile. – *Agronoomia* 2006. lk 34–37.
34. **Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., Michel, D. & Schönmeier, H.** (1997). Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator. – In: *Initiativen zum Umweltschutz*, Bd. 5, S. 43–54.
35. **Penu, P.** (2006). Eesti Muldadest Põllumehele. 32 lk.
36. **Reeves, D. W.** (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. – *Soil and Tillage Research*, 43, pp. 131–167.

37. **Schjønning P., Munkholm, L. J., Elmholt, S., Olesen J. E.** (2007). Organic matter and soil tilth in arable farming: Management makes a difference within 5–6 years. – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 122, pp. 157–172.
38. **Smith P., Powlson, D.S., Glendining, M.J., Smith, J.U.** (1997). Potential for carbon sequestration in European soils: Preliminary estimates for five scenarios using results from long-term experiments. – *Global Change Biology*, 3, pp. 67–79.
39. **Steingrobe, B., H. Schmid, R., Gutser & Claassenet, N.** (2001). Root production and root mortality of winter wheat grown on sandy and loamy soils in different farming systems. – *Biol. Fertil. Soils* 33, pp. 331–339.
40. **Talgre, L., Lauringson, E., Makke, A.** (2008). Liblikõieliste haljasvæetiskultuuridega mulda viidav C ja N ning mõju järelkultuuri saagile ja saagi kvaliteedile. – *Agronomia* 2008, lk 20–24.
41. **Talgre, L., Lauringson, E., Makke, A., Lauk, R.** (2011). Biomass production and nitrogen binding of catch crop. – *Žemdirbystė=Agriculture, Vol. 98* (No. 3), pp. 251–258.
42. **Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H. & Makke, A.** (2014). Phosphorus and potassium release during decomposition of roots and shoots of green manure crops. – *Biological Agriculture and Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems* 30(4), pp. 264–271.
43. **Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., Astover, A., Ereemeev, V., Selge, A.** (2009). The effects of pure and undersowing green manures on yields of succeeding spring cereals. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 59(1), pp. 70–76.
44. **Talgre, L., Roostalu, H., Mäeorg, E., Lauringson, E.** (2017). Nitrogen and carbon release during decomposition of roots and shoots of leguminous green manure crops. – *Agronomy Research*, 15(2), pp. 594–601.
45. **Teit, R.** (1990). Soil organic matter biological and ecological effects. – *New-York*, 395 pp.
46. **Thomsen, I.K., Christensen, B.T.** (2004). Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops. – *Soil Use and Management*. 20, pp. 432–438.
47. **Toom, M., Lauringson, E., Talgre, L., Tamm, S., Narits, L.** (2017). Sügiseste ja talviste vahekultuuride biomassi moodustamine ja toitante sidumine. Taimekasvatusalased uuringud Eestis 2017. lk 26–32.
48. **VDLUFa. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.** (2014). Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland.
<http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>
 (14.03.2017)

49. **Viil, P., Võsa, T.** (2005). Liblikõielised haljasväetised. – *EMVI infoleht* 148, 16 lk.
50. **Vipper, H.** (1999). Külvikorrad ja teraviljade koht nendes. Teraviljakasvatuse käsiraamat. Koostaja Older. H. Saku, lk 50–75.
51. **Witter, E., Johansson, G.** (2001). Potassium uptake from the subsoil by green manure crops. – *Biological agriculture and horticulture*, 19, pp. 127–141.
52. **Wivstad, M., Salomonsson, L., Salomonsson, A.-C.** (1996). Effect of green manure, organic fertilizers and urea on yield and grain quality of spring wheat. – *Acta Agriculturae Scandinavica, Soil and Plant Science* 46, pp. 169–177.

SUMMARY

The purpose of this research was to evaluate the humus condition in Lakeniidu talu's (Lakeniidu farm) soils with the humus balance calculator created in Institute of Agricultural and Environmental Sciences in Estonian University of Life Sciences and to give suggestions how to improve humus conditions based on the results of the analysis. The program is created on the basis of spreadsheet program software MS Excel. The results of the calculator are expressed as humus balance: humus kg/ha per year and humus reserve in changes, % from the initial humus reserve per year. The calculator enables to give results by a specific field, as well as per sowing. To carry out the analysis, data was collected from the master of Lakeniidu talu, Aare Kunnus. The data consisted of company's general characteristics, workforce data, labour, land tenure, and crops grown and their yield and machine technology. Data of C_{org} determined in PMA laboratory and data from the soil map were entered into the calculator's database. To evaluate the humus conditions on the farm, the data from the last five years (2012–2016) was taken into consideration.

The cultivation area of Lakeniidu farm is 160 hectares. The main activities are raising grain, legume and oil cultures. The basic lower levels of the soils in Lakeniidu farm are upper devonina stratify. The basic lower layers are covered everywhere with brown reddish moraine. On to moraine layer which contains very little of carbonates has developed stagnic luvisol. Stoniness in upper layers is very small. Low humus content and acidification of soils is very common to the soils at that region.

As there is no animals in the farm, legumes such as red clover and pea is cultivated in the purpose of reproducing humus. Also crushed straw is ploughed under the soil for the same reason (to reproduce humus).

Crop rotations used on the fields of the farm:

1. Grain-hay plants-grain-grain-grain
2. Grain-grain-hay plants-green manure-grain
3. Grain-grain-hay plants-green manure-pea
4. Green manure-grain-grain-grain-pea

5. Grain-rape-grain-grain-green manure
6. Grain-hay plants-hay plants-hay plants-grain
7. Hay plants-hay plants-hay plants-grain-rape
8. Hay plants-hay plants-hay plants-hay plants-rape
9. Rape-grain-rape-grain-grain
10. Grain-grain-rape-grain-grain
11. Grain-rape-grain-pea-grain

The analyses of the humus balance show that the most negative effect on crop rotation is rape-grain-rape-grain-grain. On the farm there are 12.5 ha (7.8%) of fields with this kind of rotation. -146 kg/ha/year (0.21%) is the average effect on humus balance with this kind of crop rotation. Evaluation of the calculator: Low, unfavorable for soil with low humus rate, acceptable in short terms for soils with high humus level. Grain-grain-rape-grain-grain got the same evaluation. The average humus consumption decrease with crop rotation was -132.84 kg/ha/year (0.16%) out of total stock.

The most profitable crop rotation according to the research is green manure- grain- grain, grain, pea.

Evaluation of the calculator: high. Is suitable especially for soils with low humus balance. The average humus consumption growth with crop rotation was 501.6 kg/ha/year (0.61%) out of total stock.

The average growth of humus consumption out of all fields is 145 kg/ha/year (0.22%) out of total stock. The evaluation of the calculator to the fields is: optimal, ensures yield, suitable for different types of soils.

Growing the red clover into green manure turned out to be the best thing to rise the humus balance. Also growing hay plants and growing peas have a positive effect on humus balance.

Suggestions to keep the humus balance optimal on the fields:

As the humus balance on the farm is low, growing the red clover as green manure should be continued.

Replacing the red clover with peas can be considered on soils with greater humus balance.

It is advisable to plough red clover as green manure under the soil in late autumn.

LISAD

Lisa 1. Huumusbilanss viljavahelduses TTTHHa

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algavust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Ojametsa põllul TTTHHa grupp (Teravili, teravili, teravili, heintaimed, haljasväetis)												
2012	Oder	3,5	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	60	88	-0,15	-131
2013	Kaer	3,4	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,11	-100
2014	Kaer	3,8	jah	jah	1,5	sl	25	r ₁	60	88	0,11	96
2015	Punane ristik	10 (silo)		ei	1,5	sl	25	r ₁	-	88	0,08	68
2016	Punane ristik	Väike (haljasväetis)		ei	1,5	sl	25	r ₁	-	88	2,70	2383
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Kesk- mine	0,53	463
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele												

Lisa 2. Huumusbilanss viljavahelduses HHaTTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algavust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Lõokese põllul HHaTTT grupp (Heintaimed, haljasväetis, teravili, teravili, teravili)											
2012	Punane ristik	10 (silo)		1,5	sl	25	r ₁	-	88	0,08	68
2013	Punane ristik	Väike (haljasväetis)		1,5	sl	25	r ₁	-	88	2,70	2383
2014	Kaer	5,1	jah	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,40	-357
2015	Nisu	4,1	jah	1,5	sl	25	r ₁	80	88	-0,14	-125
2016	Oder	3,8	jah	1,5	sl	25	r ₁	60	88	-0,22	-191
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Kesk- mine	0,40	356
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele											

Lisa 3. Huumusbilanss viljavahelduses THHHT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Kellari põllul THHHT grupp (Teravili, heintaimed, heintaimed, heintaimed, teravili)												
2012	Kaer	3,8	jah	jah	1,2	sl	28	r ₁	60	81	0,07	54
2013	Punane ristik	2,6 (hein)		ei	1,2	sl	28	r ₁	-	81	0,00	0
2014	Punane ristik	2,4 (hein)		ei	1,2	sl	28	r ₁	-	81	0,00	0
2015	Punane ristik	1,9 (hein)		ei	1,2	sl	28	r ₁	-	81	0,47	382
2016	Kaer	4,1	jah	ei	1,2	sl	28	r ₁	60	81	-0,23	-185
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Kesk- mine	0,06	50
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele												

Lisa 4. Huumusbilanss viljavahelduses HHHTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Värsi põllul HHHTT grupp (Heintaimed, heintaimed, heintaimed, teravili, teravili)											
2012	Põldhein	3,0 (hein)		1,5	sl	22	r ₁	-	78	0,00	0
2013	Põldhein	3,0 (hein)		1,5	sl	22	r ₁	-	78	0,00	0
2014	Põldhein	3,0 (hein)		1,5	sl	22	r ₁	-	78	1,01	784
2015	Oder	5,0	jah	1,5	sl	22	r ₁	80	78	-0,39	-304
2016	Oder	3,2	jah	1,5	sl	22	r ₁	60	78	-0,13	-100
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Kesk- mine	0,10	76
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Lisa 5. Huumusbilanss viljavahelduses TTHHH

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Kündja põllul TTHHH grupp (Teravili, teravili, heintaimed, heintaimed, heintaimed)												
2012	Nisu	3,5	jah	ei	1,2	sl	28	r ₁	60	81	-0,12	-100
2013	Kaer	3,6	jah	jah	1,2	sl	28	r ₁	60	81	0,09	75
2014	Punane ristik	2,6 (hein)		ei	1,2	sl	28	r ₁	-	81	0,00	0
2015	Punane ristik	2,1 (hein)		ei	1,2	sl	28	r ₁	-	81	0,00	0
2016	Punane ristik	1,5 (hein)		ei	1,2	sl	28	r ₁	-	81	0,16	126
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Keskmine	0,03	20
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele												

Lisa 6. Huumusbilanss viljavahelduses TRTTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Parve põllul TRTTT grupp (Teravili, raps, teravili, teravili, teravili)												
2012	Oder	3,3	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,11	-100
2013	Raps	1,7	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,11	-100
2014	Oder	4,1	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,22	-197
2015	Kaer	4,6	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,28	-250
2016	Kaer	3,2	jah	jah	1,5	sl	25	r ₁	60	88	0,18	155
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Keskmine	-0,11	-98
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele												

Lisa 7. Huumusbilanss viljavahelduses TRTTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tüsedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algarvust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastat
Huumusbilanss Rauba põllul TRTTT grupp (Teravili, raps, teravili, teravili, teravili)											
2012	Oder	4,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,22	-138
2013	Raps	1,9	jah	1,2	sl	22	r ₁	80	64	-0,16	-100
2014	Nisu	3,7	jah	1,2	sl	22	r ₁	80	64	-0,16	-100
2015	Nisu	3,0	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,16	-100
2016	Kaer	5,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,49	-313
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,24	-150
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Madal, ebasoodne madala huumussisaldusega muldadel, lühiajaliselt aksepteeritav suure huumusvaruga muldadel											

Lisa 8. Huumusbilanss viljavahelduses TRTTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tüsedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algarvust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastat
Huumusbilanss Väetiseküüni 1 põllul TRTTT grupp (Teravili, raps, teravili, teravili, teravili)											
2012	Kaer	4,0	jah	1,2	1	21	r ₀	70	65	-0,15	-100
2013	Raps	2,1	jah	1,2	1	21	r ₀	80	65	-0,15	-100
2014	Nisu	4,0	jah	1,2	1	21	r ₀	80	65	-0,15	-100
2015	Nisu	4,1	jah	1,2	1	21	r ₀	80	65	-0,15	-100
2016	Kaer	4,8	jah	1,2	1	21	r ₀	70	65	-0,37	-238
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,20	-128
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Lisa 9. Huumusbilanss viljavahelduses TTTTH

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	Allakülv (saak väike)	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastast
Huumusbilanss Kivila põllul TTTTH grupp (Teravili, teravili, teravili, teravili, heintaimed)												
2012	Oder	4,1	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,22	-197
2013	Kaer	4,3	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	70	88	-0,21	-186
2014	Nisu	4,2	jah	ei	1,5	sl	25	r ₁	80	88	-0,17	-147
2015	Kaer	4,0	jah	jah	1,5	sl	25	r ₁	70	88	0,06	53
2016	Punane ristik	11 (silo)		ei	1,5	sl	25	r ₁	-	88	1,31	1159
Kalkulaatori hinnang humusseisundi muutustele aastatel 2012–2016										Keskmine	0,15	136
Hinnang humusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva humussisaldusega muldadele												

Lisa 10. Huumusbilanss viljavahelduses HTTTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tusedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algvarust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastast
Huumusbilanss Tamme põllul HTTTT grupp (Heintaimed, teravili, teravili, teravili, teravili)											
2012	Põldhein	2,2		1,2	sl	22	r ₁	-	64	0,30	193
2013	Oder	3,2	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,16	-100
2014	Suvinisu	4,2	jah	1,2	sl	22	r ₁	90	64	-0,16	-100
2015	Talinisu	3,0	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,16	-100
2016	Oder	3,0	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,16	-100
Kalkulaatori hinnang humusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,07	-41
Hinnang humusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva humussisaldusega muldadele											

Lisa 11. Huumusbilanss viljavahelduses HTTTT

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tüsedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algarvust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Sorso põllul HTTTT grupp (Heintaimed, teravili, teravili, teravili, teravili)											
2012	Põldhein	2,5 (hein)		1,2	sl	22	r ₁	-	64	0,83	528
2013	Nisu	3,8	jah	1,2	sl	22	r ₁	80	64	-0,16	-100
2014	Kaer	4,7	jah	1,2	sl	22	r ₁	70	64	-0,36	-228
2015	Nisu	3,5	jah	1,2	sl	22	r ₁	80	64	-0,16	-100
2016	Oder	3,1	jah	1,2	sl	22	r ₁	80	64	-0,15	-95
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,00	1
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Lisa 12. Huumusbilanss viljavahelduses HaTTTHe

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tüsedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algarvust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Lakeniidu põllul HaTTTHe grupp (Haljasväetis, teravili, teravili, teravili, hernes)											
2012	Punane ristik	keskmine		2,4	sl	25	r ₀	-	139	2,11	2944
2013	Kaer	4,3	jah	2,4	sl	25	r ₀	80	139	-0,17	-230
2014	Nisu	4,2	jah	2,4	sl	25	r ₀	80	139	-0,17	-242
2015	Nisu	3,8	jah	2,4	sl	25	r ₀	80	139	-0,11	-155
2016	Hernes	2,1	jah	2,4	sl	25	r ₀	-	139	0,33	466
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,40	557
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Väga kõrge, suureneb lämmastiku leostamise oht											

Lisa 13. Huumusbilanss viljavahelduses TTRTTHe*

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tisedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algarvust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Kõossaare põllul TTRTTHe* grupp (Teravili, teravili, raps, teravili, teravili, hernes)											
2012	Kaer	3,9	jah	2,8	sl	25	r ₁	60	157	-0,18	-276
2013	Oder	4,2	jah	2,8	sl	25	r ₁	80	157	-0,21	-330
2014	Raps	1,9	jah	2,8	sl	25	r ₁	90	157	-0,30	-473
2015	Nisu	4,3	jah	2,8	sl	25	r ₁	90	157	-0,16	-254
2016	Oder	3,5	jah	2,8	sl	25	r ₁	80	157	0,12	-189
2017	Hernes*	3,5*	jah	2,8	sl	25	r ₁	15	157	0,48*	758*
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	-0,08	-127
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Optimaalne, tagab saagikindluse, sobiv erineva huumussisaldusega muldadele											

Lisa 14. Huumusbilanss viljavahelduses TTRTTHa*

Aasta	Kultuur	Saak, t/ha	Põhk mulda	C org, %	Lõimis	Huumuskihi tisedus	Koresus	N, kg/ha	Huumuse algvaru, t/ha	Huumusvaru muutus algarvust, %	Huumusbilanss, kg/ha aastas
Huumusbilanss Kõossaare põllul TTRTTHa* grupp (Teravili, teravili, raps, teravili, teravili, haljasväetis)											
2012	Kaer	3,9	jah	2,8	sl	25	r ₁	60	157	-0,18	-276
2013	Oder	4,2	jah	2,8	sl	25	r ₁	80	157	-0,21	-330
2014	Raps	1,9	jah	2,8	sl	25	r ₁	90	157	-0,30	-473
2015	Nisu	4,3	jah	2,8	sl	25	r ₁	90	157	-0,16	-254
2016	Oder	3,5	jah	2,8	sl	25	r ₁	80	157	0,12	-189
2017	Punane ristik*	Väike (haljasväetis)		2,8	sl	25	r ₁	-	157	1,63*	2564*
Kalkulaatori hinnang huumusseisundi muutustele aastatel 2012–2016									Keskmine	0,11	174
Hinnang huumusbilansi tulemusele: Kõrge, sobib eeskätt madala huumussisaldusega muldadele											

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina,

Priit Kunnus,
(autori nimi)

sünniaeg 30.10.1994,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Lakeniidu talu huumusbilansi analüüs,
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja(d) on

dots. Enn Lauringson,
(juhendaja(te) nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)
(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)